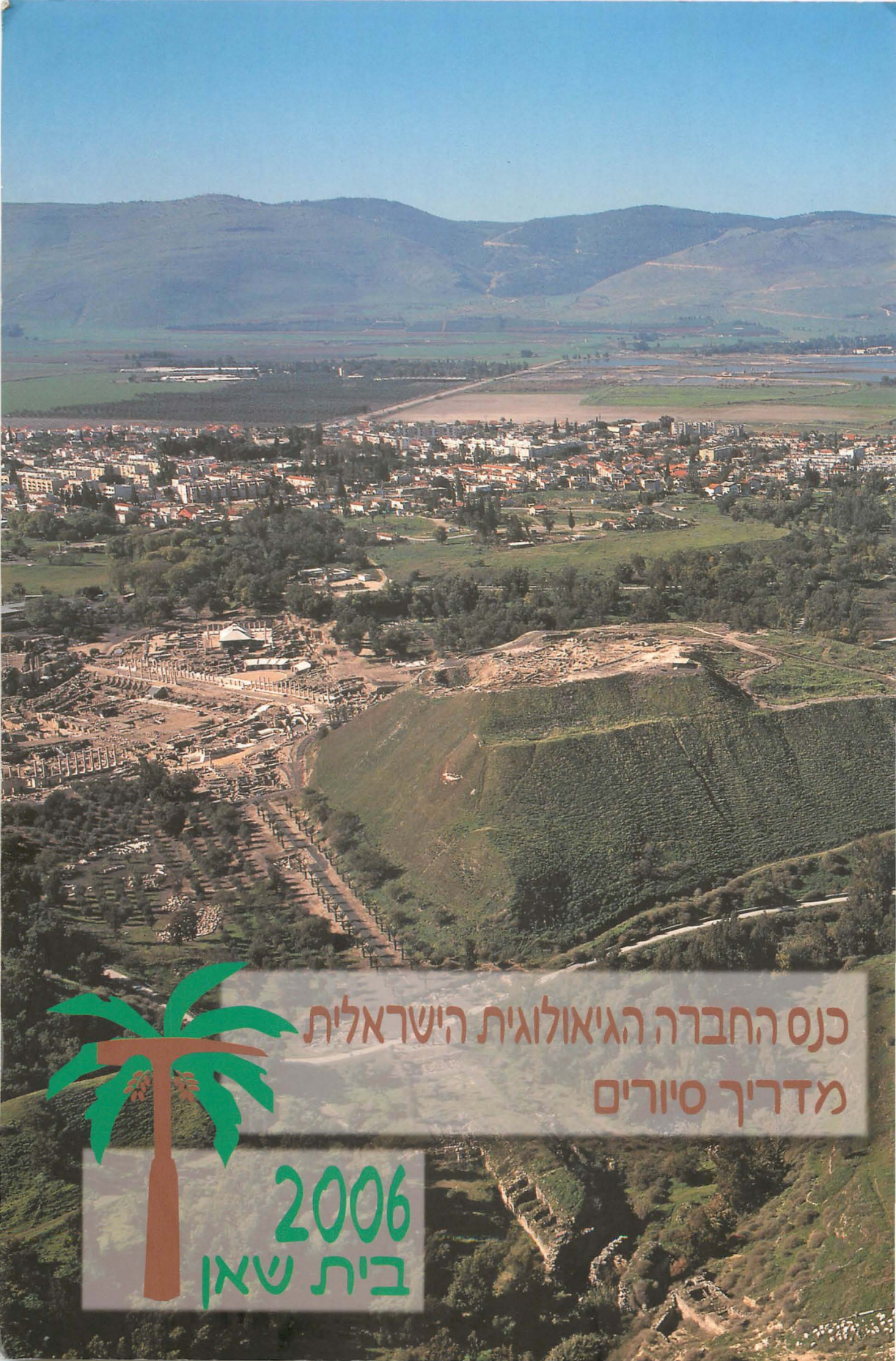




כנס החברה הגיאולוגית הישראלית
מדריך סיורים



2006
בית שאן



עורכים:
שמוליק מרקו
נעמי פורת



כנס החברה הגיאולוגית הישראלית
מדריך סיורים

2006
בית שאן

כא' - כג' שבט תשס"ו
19-21.02.2006

הוצאה לאור ע"י החברה הגיאולוגית

עיצוב גרפי: חנה נצר-כהן

תמונת שער: עמק בית שאן והרי הגלבוע
צילום: אלבטרוס צילומי אוויר

הפקה: אפרת 2000, ירושלים
טלפון: 02-6522144



החברה הגיאולוגית הישראלית מזדה למוסדות הבאים על השתתפותם ותורמתם

לכנס החברה בבית שאן:

המכון הגיאולוגי

המכון הגיאופיזי

האוניברסיטה העברית, המכון למדעי כדור הארץ

אוניברסיטת בן גוריון בנגב, המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה

אוניברסיטת חיפה, המכון ללימודי ים

נשר מפעלי מלט ישראליים בע"מ

רוחם אמפרט נגב

מפעלי ים המלח

אוניברסיטת תל אביב, המחלקה לגיאופיסיקה ולמדעים פלנטריים

אוניברסיטת חיפה, הפקולטה למדעים והוראתם

משרד התשתיות הלאומיות

חברי ועד החברה הגיאולוגית הישראלית 2005 - 2006:

✧ נשיאה - נעמי פורת

✧ סגן נשיאה - יוסי יחיאלי

✧ מזכיר - שמואל מרקו

✧ מרכזת פעולות - רונית קסל

✧ גזבר - עדי טורפשוטין

✧ מנהל אתר האינטרנט - ג'וש שטיינברג

✧ חברת ועד - אליסה קייגן

מנהל הקרן על שם דר' פרץ גרדר ז"ל - רני קלבו

ועדת ביקורת - אולגה יפה ושרה ארליך

החברה הגיאולוגית מזדה לחנה נצר-כהן, בת שבע כהן, אירה פאר, שלמה אשכנזי ויעקב רפאל על עזרתם בארגון הכנס והכנת חוברות התקצירים והסיורים.



רשימת סיורים:

- סיור מס. 1
שבירים, גלישות ופעילות מגמתית למרגלות הגלבוע
1 יוסי חצור ויעקב מימרן
- סיור מס. 2
תחנות להכרת ההיסטוריה הוולקנית והסדימנטרית של עמק יזרעאל
29 גבי שליב, עמיר סנדלר ויהודית הרלבן
- סיור מס. 3
הכרת חתכי הטופות והמורפוטקטוניקה לאורך הגבול בין בקעת בית שאן
לעמק הירדן
49 עזרא זילברמן ואלקסיס רוזנבאום
- סיור מס. 4
הגיאולוגיה של מרכז ודרום אזור הכרמל
69 עמית שגב ואיתן שש
- סיור מס. 5
דייקים, התפרצויות וולקניות ומערכות שבירה בגליל התחתון
89 גדעון בר ואמוץ עגבון
- סיור מס. 6
כנרת יש רק אחת
107 תמר זהרי



מפת הסיורים:





שברים, גלישות, ופעילות מגמטית למרגלות הגלבוע

יוסי חצור

המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, באר שבע

יעקב מימרן

משרד התשתיות הלאומיות

מבוא

הסיור כולל מספר אתרי מפתח בשולי הגלבוע המאפשרים שיחזור ההיסטוריה הטקטונית באזור (איור 1). בטרם נפנה לתיאור תחנות הסיור נסקור בקצרה את היחידות הליתוסטריגרפיות שנפגוש. חלק מהיחידות מוגדרות כאן לראשונה וההגדרה המקובלת של יחידות אחרות תוקנו והוגדרו בשנית. איסוף וניתוח הנתונים שויבאו כאן בוצעו במסגרת עבודת המוסמך של חצור (1988) אשר הוגשה לאוניברסיטה העברית ובוצעה בשיתוף עם המכון הגיאולוגי תחת הנחייתם של י. מימרן, ז. רכס, וא. סטרינסקי. תיאור מפורט יותר של הסטריגרפיה של חבורת עבדת ניתן על ידי Hatzor et al. (1994) ושל חבורת טבריה וים המלח על ידי Shaliv et al., (1991). Hatzor and Reches (1990) ניתחו את מבנה הגלבוע ודנו בשדה המאמצים שהביאו להתפתחותו.

סטריגרפיה

יחידות הסלע הנחשפות בשולי הגלבוע משתייכות לחבורת יהודה, הר-הצופים, עבדת, טבריה, וים המלח (איור 2). היחידות המשתייכות לחבורת יהודה והר הצופים תוארו בעבודות רבות במרכז וצפון ישראל ולכן לא נחזור על תיאורן. יחידות חבורת עבדת הוגדרו באחרונה מחדש (Hatzor et al., 1994). היחידות של חבורת טבריה וים המלח תוארו בעבר אך גיל היחידות כמו גם הגדרת מספר יחידות משנה מקוריות מוצג כאן בעקבות Shaliv et al., (1991).

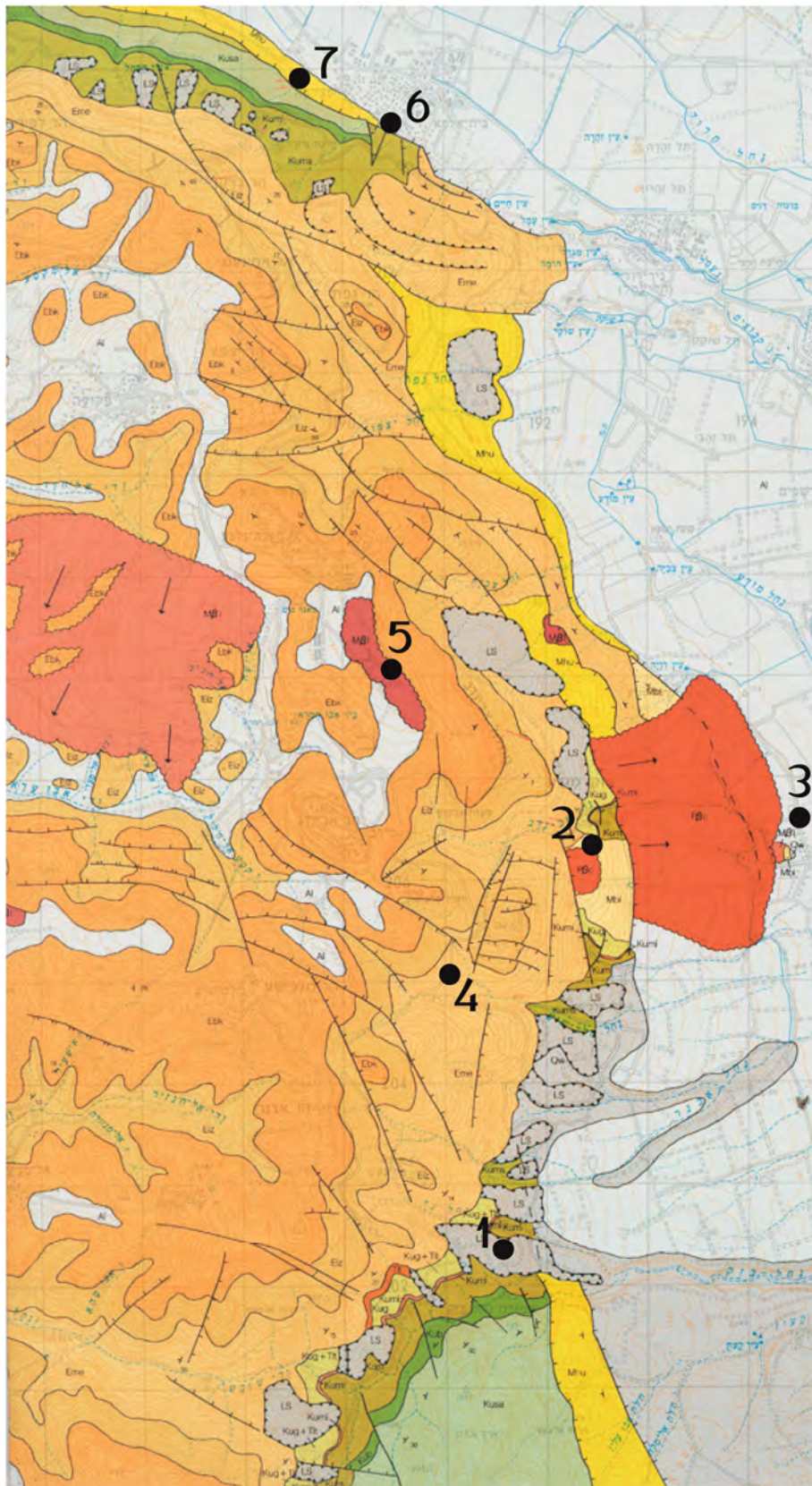


Figure 1: Geological Map of the Gilboa (From Hatzor 2000) and location of stations.

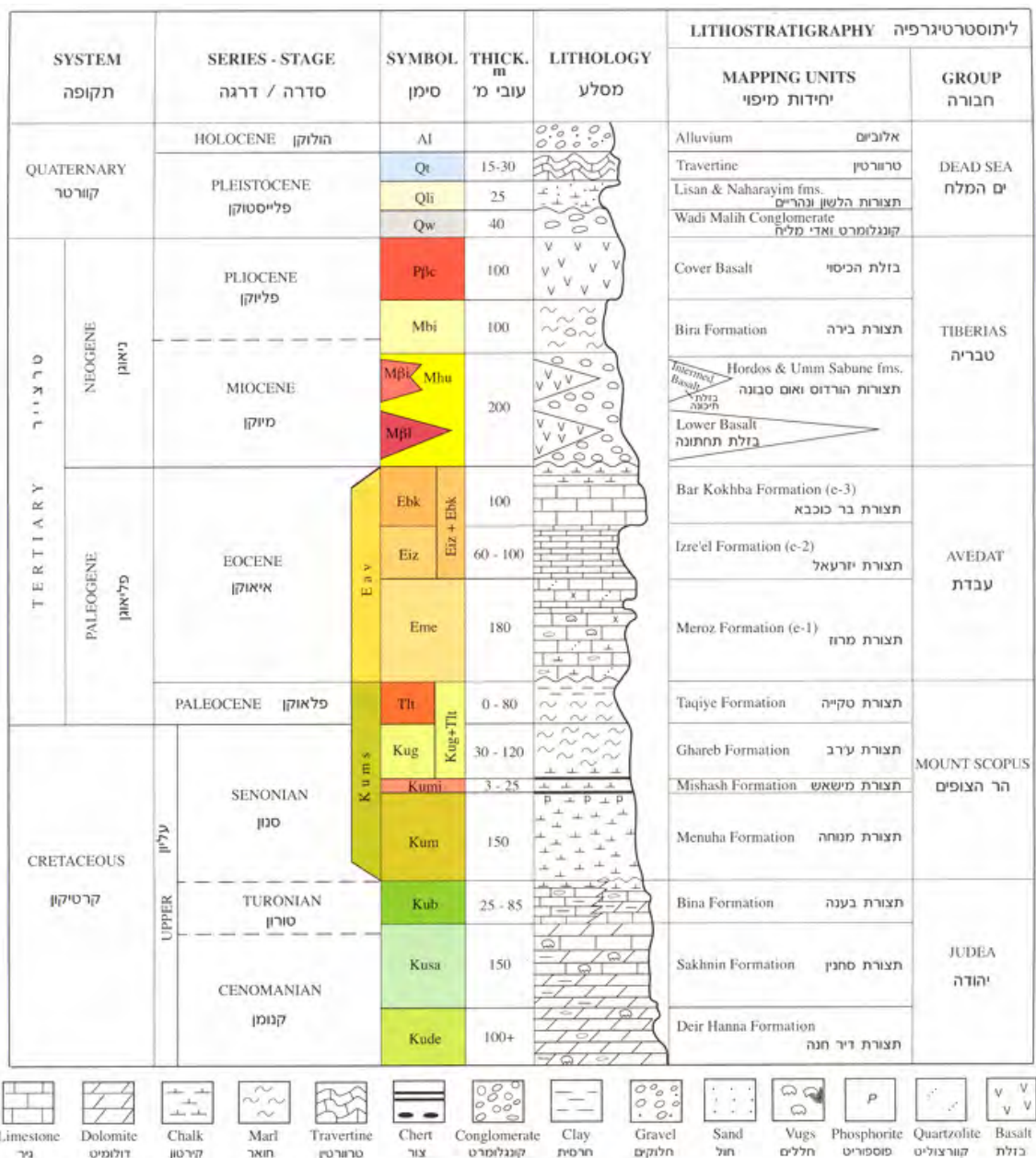


Figure 2: Composite columnar section for the mapping units in the Gilboa region (Hatzor, 2000).

חבורת עבדת

פלכסר (1961) הגדיר שלוש יחידות מיפוי לא פורמליות: "גיר מרוז", "שיש יזרעאל", ו- "גיר בר-כוכבא". חצור (1988) הגדיר יחידות מיפוי זמניות E1, E2, E3. יחידות אלו בנוות מיפוי בכל הגלבע ואין חופפות בשטח עם יחידות המיפוי של פלכסר. הן מעוגנות בביוסטריגרפיה (Hatzor et al., 1994) וניתן בעזרתן להסביר "אי התאמות" שמפו בעבר, כמספר שינויים פציאליים שעוברת יחידת הבסיס של האיאוקן E1.



נראה עתה כי החתך האיאוקני שומר על עוביו ברחבי הגלבע ובשום מקום עוביו הכולל איננו עולה על 450 מ'. קורלציה בין היחידות האיאוקניות בגלבע מוצגת באיור 3.

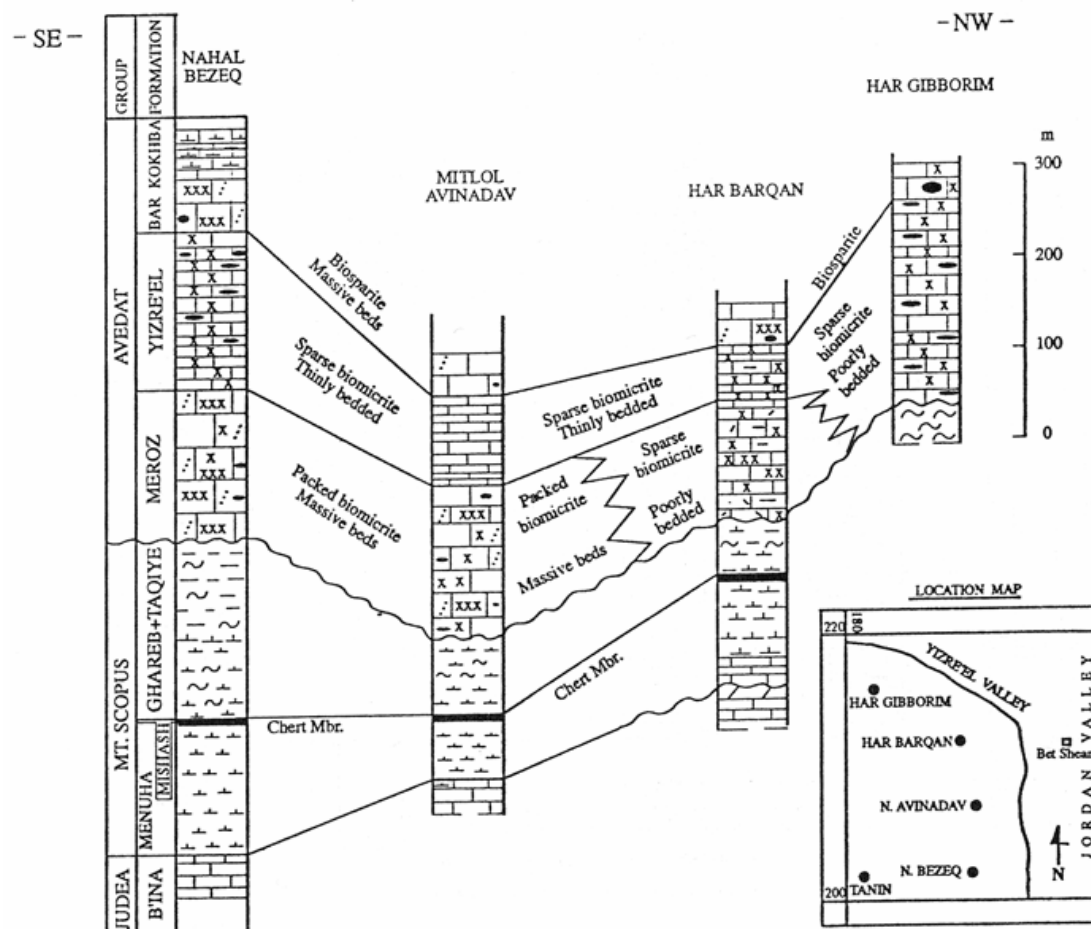


Figure 3: Correlation between Eocene mapping units in the Gilboa region (Hatzor et al., 1994).

בבחירת השמות המעודכנים ליחידות האיאוקניות נעשה שימוש בשמות שקבע פלכסר (1961), והוענק ליחידות מעמד פורמלי של תצורות כמפורט להלן. הגילים הביוסטרטיגרפיים הוגדרו על ידי ח. בנימיני ול. גרוסוביץ (Hatzor et al., 1994).

א) תצורת מרוז

מונחת בבסיס החתך האיאוקני בגלבע באי התאמה על גבי יחידות מגיל מסטריכט ופליאוקן. מורכבת מגיר מצורר בחלקו בחילופין עם קירטון, וצור מופיע בעדשות. גג התצורה מתאפיין במצוקים מסיביים. בסיס התצורה מגיל איאוקן תחתון מאוחר ועוביה אחיד, כ-180 מ'. שלוש רצועות פציאליות הוגדרו ע"י חצור (1988) בתצורה זו המיוצגות שינוי מפציאס רדוד בדרום-מזרח לפציאס עמוק בצפון-מערב. השינויים הפציאליים הם בעלי ביטוי ליחולוגי ופטרורגפי כאחד. הפאונה הפלנקטונית ביחידה מציינת גיל P9. כל טווחי הגיל

המצוטטים להלן הם על פי החלוקה הביוסטרטיגרפית של Breggen et al., (1985). סכמה של השינויים הפציאליים שעוברת יחידת מיפוי זו מוצגת באיור 4.

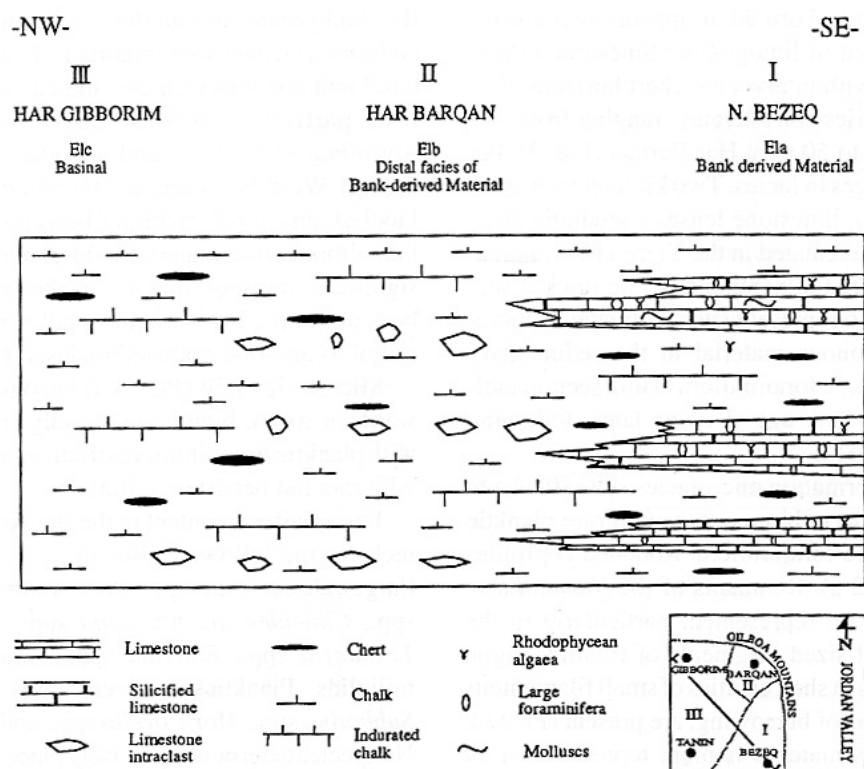


Figure 4: Facies changes in the Meroz Fm. (Hatzor et al., 1994)

ב) תצורת יזרעאל

מונחת בהתאמה על גבי תצורת מרוז ומתחת לתצורת בר-כוכבא. מורכבת מגיר ליטוגרפי בשיכוב דק בחילופין עם אופקים דקים של צור. העובי משתנה מ-167 מ' באזור נחל בזק ל-50 מ' בצפון בגלבו. פורמיניפרים פלנקטוניים מציינים גיל איאוקן תיכון (P10 ואף מאוחר יותר).

ג) תצורת בר-כוכבא

מונחת על גבי תצורת יזרעאל וגדועה בגגה על ידי סדימנטים קלסטיים ובזלות מגיל ניאוגן-קוורטר. בסיס התצורה מסיבי ויצר מצוקים תלולים. המסלע בבסיס גירי ומכיל נומוליטים ואצות בצפיפות רבה. חלקם מצוררים. כלפי מעלה השיכוב טוב יותר ותכולת המרכיב הקירטוני עולה. העובי המרבי החשוף הוא כ-100 מ'. המאובנים שהוגדרו בחתך אינם עוזרים בקביעת גיל התצורה, אך בהתחשב במינים המופיעים בתצורת יזרעאל, גיל תצורת בר-כוכבא אינו יכול להיות קדום ל-P11.

הקורלציה בין יחידות המיפוי של האיאוקן בגלבו לייחודות מיפוי איאוקניות במרכז ודרום ישראל מוצגת באיור 5 ואינטרפרטציה ראשונית במונחים של סטרטיגרפית אירועים מוצגת באיור 6.

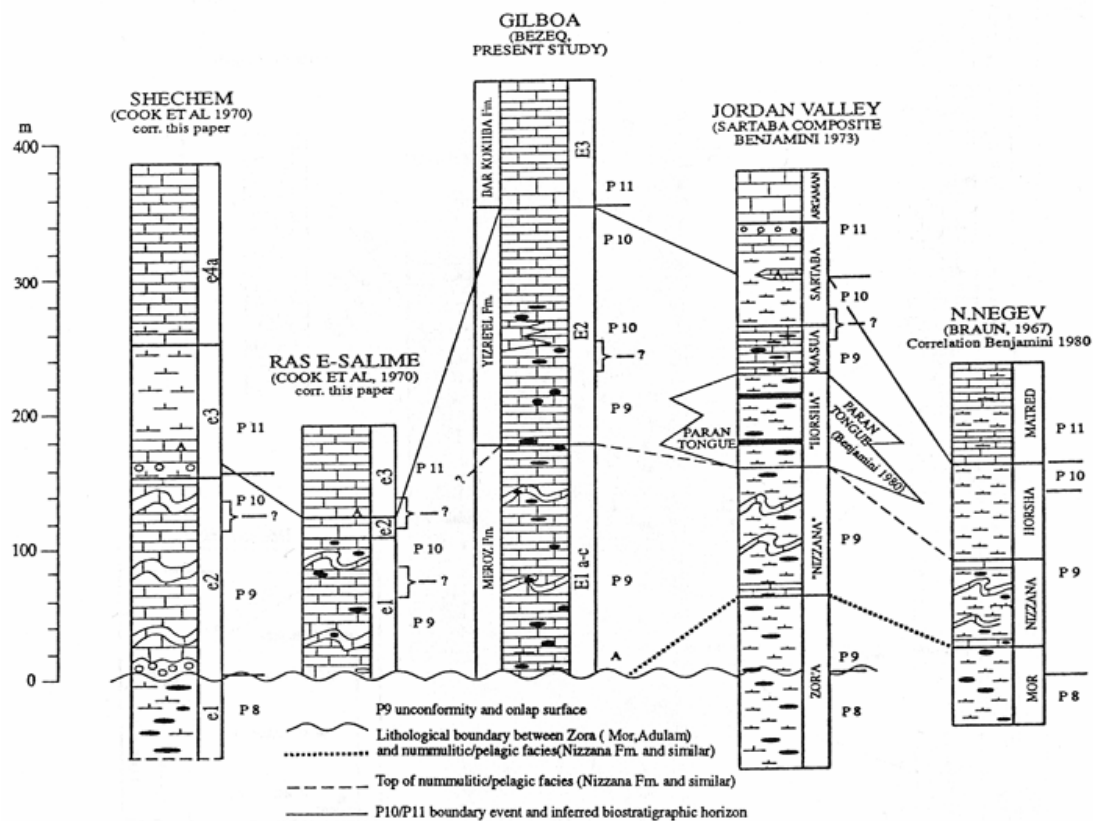


Figure 5: Correlation chart of the Eocene sequence in the Gilboa with other regions in Israel (Hatzor et al., 1994).

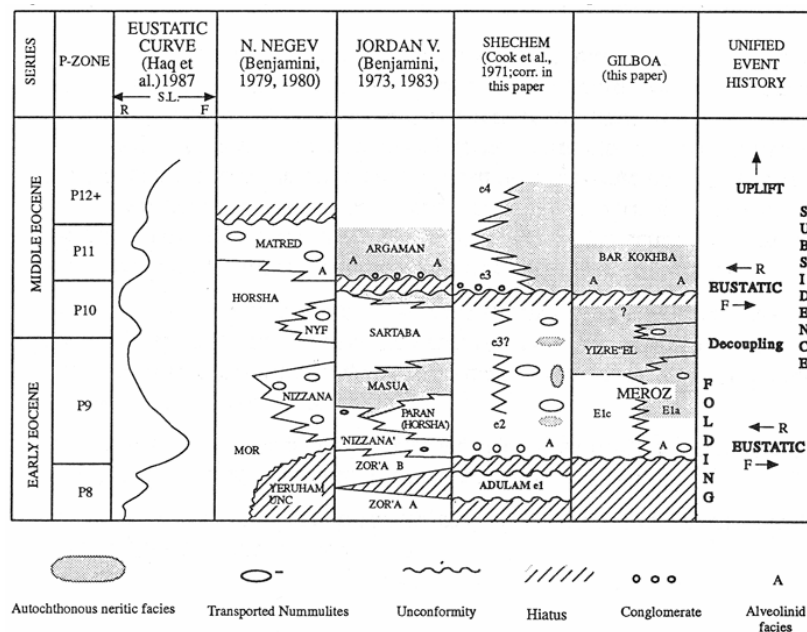


Figure 6: Event stratigraphy of the Eocene sequence in the Gilboa and correlation with other regions in Israel (Hatzor et al., 1994).

חבורת טבריה

החתך הנאוגני-קוורטרי בשולי הגלבוע מורכב מסדימנטים קלסטיים ואגמיים עם זרמי בזלת ביניהם. הוא מונח באי התאמה אירוזיבית וזוויתית על סלעים מגיל קרטיקון עד איאוקן ועוביו הכולל עולה על 500 מ'. מובחנות בו מספר יחידות ליתוסטרטיגרפיות, המונחות באי התאמה זו על זו. בהעדר מאובנים מצייני גיל בחתך חשוב התיארוך הרדיומטרי של הסלעים הוולקניים בקביעת גיל החתך ומרכיביו. הגילים הרדיומטריים שיובאו להלן נקבעו על ידי שליב (1990).

א) תצורת הורדוס ובזלת תחתונה

סלעים קלסטיים דקים, עם מעט שכבות ביניים של קונגלומרטים וסלעים קרבונטיים הנחשפים בשולי הגלבוע מופו כתצורת הורדוס לפי עמדתם הסטרטיגרפית והליתולוגיה הזוהה לזו שמדרום לטבריה (Bentor, 1961). קילוחי בזלת הנחשפים במורדות הגלבוע מופו כבזלת תחתונה בשל גילן הרדיוגני (בתחום 10.3–17.5 מ.ש.).

תצורות הורדוס חולקה לשתי יחידות:

1. קונגלומרט תחתון מורכב מחלוקים מקומיים מסלעים מגיל קרטיקון תחתון עד איאוקן תיכון, מלוכד היטב. עוביו עד 20 מ'.
2. פרט קלסטי קרבונטי בנוי מחילופי שכבות דקות של קלציסיליטי אדום, חול זולומיטי קוורציטי ירקרק, זולומיט לבן וצהבהב, קרטון חרסיתי עם עדשות אנהידריט וקוורצוליט בעובי עד 1 מ' (בואדי מיברק, נצ. 2004/1936). עובי הפרט גדל מכ-30 מ' בקירבת ציר קמר הפריעה במונטר א-שק (נצ. 1977/1945) עד ל-160 מ' באזור מרמה-פיאד (מדרום לאזור הסויר). גיל בסיס תצורת הורדוס באזור עתיק מ-15 מ.ש., לפי גיל שנקבע לזרם בזלת המשולב בה במחצבת חפציבה (תחנה 7). הגיל שנקבע לסלעי התצורה באזור טבריה הוא בין 18 ל-11 מ.ש. (שליב, 1990).

חבורת ים המלח

החבורה, שגילה מיוקן עליון עד פליסטוקן, כוללת את התצורות הבאות: קונגלומרט אום-סבונה, תצורת בירה ובזלת תיכונה, תצורת גשר ובזלת הכיסוי, קונגלומרט ואדי מלית, ותצורות סמרה והלשון.

א) קונגלומרט אום-סבונה

השם שניתן ע"י שולמן (1962) לקונגלומרט המורכב מחלוקי בזלת תחתונה ומונח על גבה בשולי עמק הירדן ובגליל המזרחי, ניתן ע"י שליב (1990) לכלל הקונגלומרטים הנמצאים בעמדה סטרטיגרפית זהה. בעבר הוגדרו קונגלומרטים אלו באזורנו ובדרום הגולן כפרט עליון של תצורת הורדוס נ (Schulman & Rosenthal, 1968; מיכלסון, 1972; מימרן וחבריו, 1989). הקונגלומרטים לרוב תמוכי חלוקים, עוביים 20-70 מ', והם מונחים באי התאמה על גבי תצורת הורדוס או על סלעים עתיקים יותר. באזור נחל בזק

נחנה 1) הקונגלומרטים תמוכי בוך ואף מכילים עדשות של סילט אדמדם. החלוקים בקוטר 30-10 ס"מ, לרוב מעוגלים, וממוינים היטב. המטריקס רך עד קשה מאוד, לרוב קרבונטי אדמדם. עובי התצורה במזרח הגלבע כ-70-60 מ' והיא מורכבת בעקר מחלוקי גיר של חבורת עבדת ומעט חלוקי בזלת. באזור נחל אבינדב היחידה מכילה שכבות ביניים של גיר קלסטי צהבהב בעובי מרבי של 1 מ', עשיר באוסטרקודים של מים ברקיים. הגיל המשוער של קונגלומרט אום סבונה הוא בין 8.5 ל-7 מ.ש., לפי הגילים הרדיוגניים של זרמי בזלת התוחמים אותו בגליל המזרחי (נשליב, 1990).

ב) תצורת בירה ובזלת תיכונה

השם סדרות בירה ניתן ע"י פיקרד (1943) לסדרות של סדימנטים לגונריים-אגמיים עם אינטרקלציה ימית, בעמק הירדן המרכזי. השם בזלת תיכונה ניתן ע"י שולמן (1962) לזרמי בזלת דקים המופיעים מעל לקונגלומרט אום-סבונה ובתוך הסדימנטים של תצורת בירה. הקורלציה של סדרות סדימנטים קלסטיים וקרבונטים אגמיים המופיעות בשולי הגלבע לתצורת בירה מתבססת על תיארוך רדיומטרי של זרמי הבזלת.

סלעי תצורת בירה נרבדו בהתאמה על קונגלומרט אום-סבונה והם מכוסים באי ההתאמה ע"י תצורת גשר, בזלת הכיסוי או יחידות צעירות יותר. העובי המרבי נמדד לאורך ואדי אל-מיברק (נ.צ.מ. 2008/1943) כ-190 מ' (נמוץ לאזור הסיוור). החלק התחתון בנוי מקונגלומרטים תמוכי בוך, עם שכבות ביניים דקות של גירים קלסטיים, חול גירי וסילט. החלק המרכזי בנוי מחילופי גיר קשה, למינרי, עם מעט עדשות קוורצוליט ומיקרוקונגלומרט, קרקע מאובנת, צור צהוב ושכבות חוואר ירקרק המכיל שרידי צמחים וזגים. החלק העליון מורכב מחילופי קירטונים לבנים, חווארים, חלקם עשירים באונקוליטים, קונגלומרטים תמוכי בוך וגירים קלסטיים קשים.

שני זרמי בזלת, בעובי 7-5 מ' כל אחד, נמצאו בחלק העליון של החתך. גיל הזרם התחתון כ-6.2-5.8 מ.ש. וגיל העליון כ-5.9 מ.ש. גילה של תצורת בירה באזור נקבע לפי גילם של זרמי הבזלת המשולבים בה ומכסים אותה. גיל הבסיס לפיכך מוקדם ל-6.2 מ.ש. וגיל הגג מוקדם ל-5.3 מ.ש., שהוא גיל זרם בזלת הכיסוי הקדום ביותר המכסה אותה.

ג) תצורת גשר

התצורה הוגדרה בעמק הירדן המרכזי (שולמן, 1962) והיא מורכבת שם מסדרה של גירים אואוליטיים אגמיים, ומונחת באי התאמה על תצורת בירה. מזרם לעמק בית שאן נמצאה סדרה של גירים דקי גביש בחילופין עם סלעים קלסטיים דקים, קירטונים וקונגלומרטים, המונחים באי התאמה על סלעים שהוגדרו שם כתצורת בירה, ועל סלעים של תצורת הורדוס. עובי הסדרה 120-60 מ'. במקומות נמצאו בגירים שרידי גסטרופודה אגמית. תצורת גשר אינה נחשפת באזור הסיוור.

ד) בזלת הכיסוי

השם ניתן לרצף קילוחי הבזלת המכסים את רמות הגליל התחתון המזרחי (שולמן, 1962). גיל בזלות אלה נמצא בתחום 4-5.3 מ.ש. בזלות שגילן בתחום גילים זה נמצאו באזורנו במחשופים קטנים מנחל נורית בצפון ועד נחל אבינדב בדרום, אך תחום השתרעותן המקורי של הבזלות באזור אינו ברור. היחידה מוכרת מקיזוחים בעמק חרוד שם היא מכסה סלעים של תצורת גשר ועוביה מגיע למספר עשרות מטרים. בנחל נורית הבזלת מכסה גירים של חבורת עבדת ובזלת תחתונה, בבזלת הירוד שמצפון להעתק הגלבו. נראה שהבזלת שזרמה מכון רמות יששכר נחסמה בדרום ע"י מתלול הגלבו שהיה כבר קיים. באזור נחל מגדע-נחל אבינדב, חתך בזלת הכיסוי מתעבה ממערב למזרח ובאזור זה נמצאו גם דייקים מאותו גיל. לפיכך נראה שחלק ממקורות בזלת זו היו בשולי הגלבו הדרומי שכבר התרומם אז יחסית לעמק ממזרח לו. את בזלת הכיסוי נפגוש בנחל אבינדב (תחנה 2) ובמחצבת רוויה (תחנה 3). מחשופים נוספים קיימים בצפון הגלבו באזור נורית.

ה) קונגלומרט ואדי מליח

קונגלומרט זה תואר לראשונה ממחשוף בערוץ ואדי אל-מליח התחתון (מחוץ לאזור הסיור) ושוער שהינו קורלטיבי לתצורת עובדיה הפליסטוקנית (Schulman & Rosenthal, 1968). עוביו שם וכן לאורך נחל בזק כ-40 מ' והוא מונח לאורך אפיק נחל בזק על גבי חווארים של תצורת בירה. הקונגלומרט מורכב מחלוקים גסים ממקור סמוך, במין גרוע, במקומות תמוך בוץ ואף מכיל שכבות חוואריות וקרקע מאובנת. כל יחידות הסלע החשופות לאורך המורדות המזרחיים של הגלבו תורמות מרכיבים קלסטיים לתצורה זו. נראה שהקונגלומרט בונה את הטרסה השטוחה אשר מתחת לכיסוי הקרקע בכל השטח של דרום ביקעת בית-שאן, עד למרגלות הגלבו, שם היא נמוכה ב-30-50 מ' ממדרגה טופוגרפית של קונגלומרט אום-סבונה. הקונגלומרט תת אופקי במרבית השטח. אך לעיתים בקרבת הירדן (נכמו באום צוף) קיימות בו נטיות מקומיות חריפות (Shaliv et al., 1991).

מבנה

הגלבו נמצא באזור המפגש בין כמה מחוזות סטרוקטורליים (איור 7). האחד הוא הקצה הצפוני מזרחי של השומרון שהמבנים השולטים בו הם קמטים ושברים נורמלים; השני הוא הקצה הדרומי מערבי של הגליל התחתון המזרחי ששולטים בו שברים, גושים נטיים ומסובבים; והשלישי הוא השוליים המערביים של בקע ים המלח.

סדרת קמטים המשתייכת למבני הקשת הסורית נחשפת בצפון השומרון. הקמטים נחצים על ידי מערכות שברים צפופות שבמקומות אף מטשטשות את מבני הקימוט. קמר הפריעה מהווה את ההמשך הצפוני של קמרי יהודה. הקמר אסימטרי, אגפו המערבי נוחת במתניות יחסית לכיוון קער שכם, בעוד שאגפו המזרחי תלול יותר. ציר הקמר נוחת צפון-מזרחה לכון בקעת בית שאן. בדומה לקמטים אחרים בקשת הסורית קיימת בצפון הגלבו אי התאמה ארוזיבית בגג חבורת יהודה (סוף טורון). זוהי עדות לתחילת הקימוט אשר נמשך,

על פי שינויי עובי של היחידות השונות בחבורת הר הצופים, עד לפליאוקן. פאוזת קימוט האיאווקן התחתון תוארה בגלבוע (נחזור, 1988), ודרומה, בכפיפה המזרחית של קמר הפריעה נמדדו נטיות של 37 בשכבות גיר נאוגניות (Mimran, 1984).

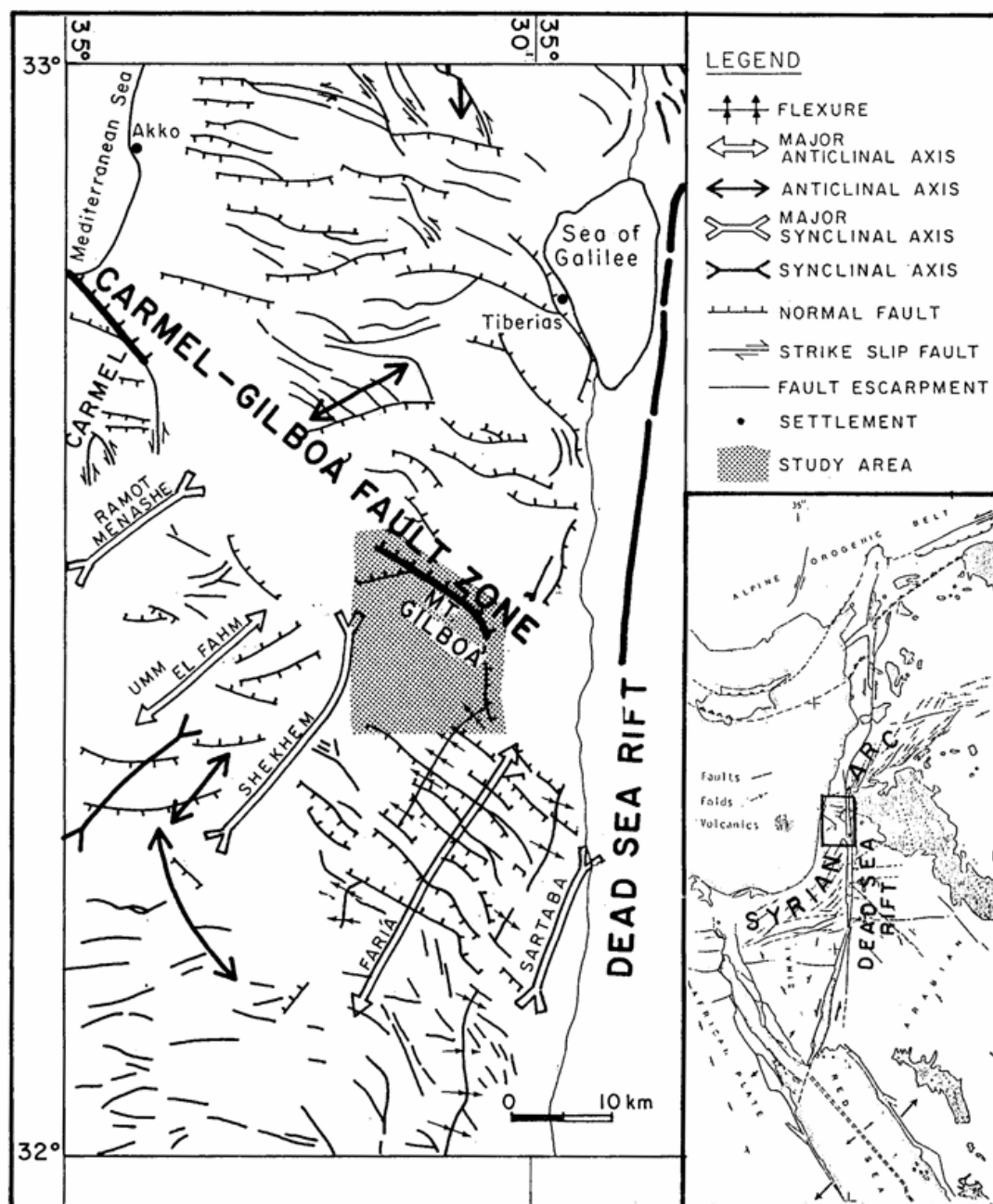


Figure 7: Structural setting of the Gilboa region (Hatzor, 1988).

בשוליים הצפוניים מזרחיים של הגלבוע מערכת העתקים מזורגים (en-echelon) נורמלים שכוונם מערב-צפון-מערב עד צפון-מערב (תרשימים 9, 8). הזריקה המרבית לאורך העתק הגלבוע, שהינו העיקרי במערכת ההעתקים, היא 750 מ', ואילו זריקות ההעתקים האחרים הן עד 100 מ'. ההעתקים מאוחרים לקילוחים

בזלתיים שגילים נקבע כ-17-15 מליון שנה, אולם פעילותם נמשכה לאחר קילוחי בזלות מגיל 4.6-5.2 מליון שנה. העתקים בכון צפון-דרום השייכים למערכת בקע ים המלח, מגבילים את שולי הגלבע ממזרח.

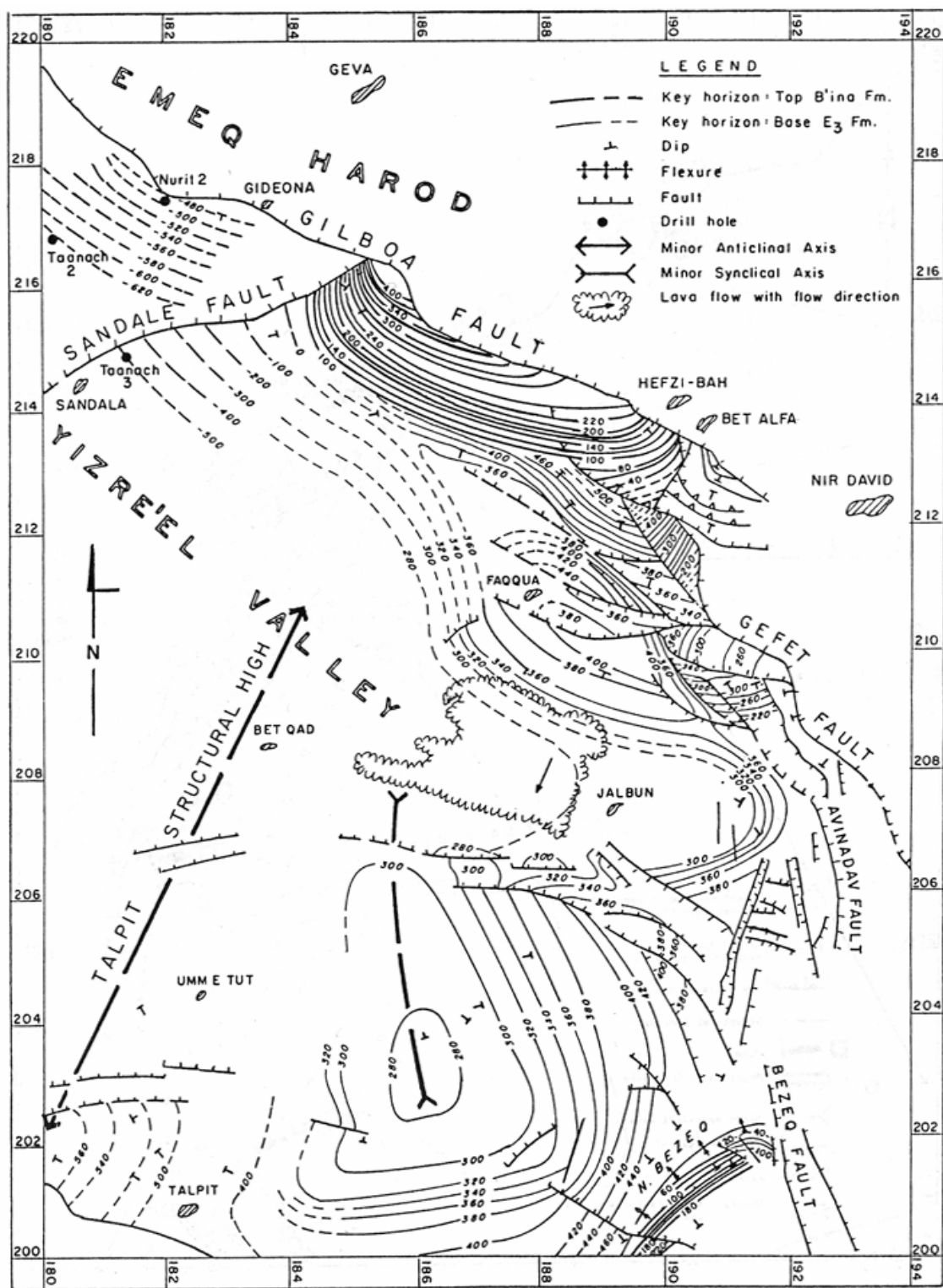


Figure 8: Structural contour map of the Gilboa area (Hatzor, 1988).

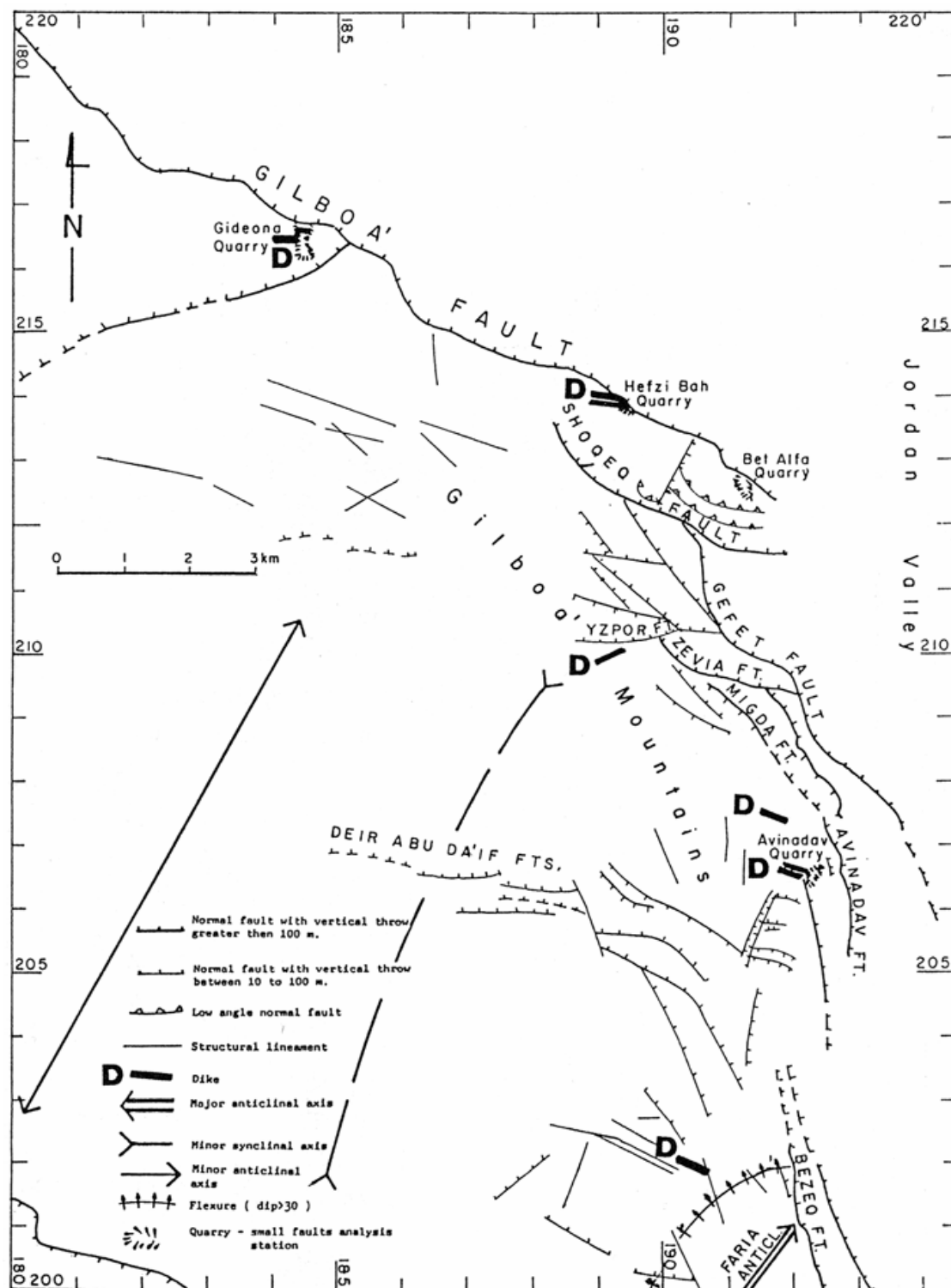


Figure 9: Major faults, lineaments, and dikes in the Gilboa (Hatzor, 1988).

שדה המאמצים

ניתוח שדה המאמצים בגלבוע נעשה בעזרת ניתוח מבנים קטנים בסלעי האיזוקן במספר מחצבות בשולי הגלבוע: מחצבת גדעונה, מחצבת בית-אלפא ומחצבת אבינדב (איור 9). שיטת הניתוח שהופעלה (stress inversion) מבוססת על חישוב טנזור המאמץ האופטימאלי להפעלת מאסף של שברים באוריינטציות שונות וסימני החלקה מוגדרים, תוך ציות לקריטריון הכשל של קולומב-מוהר, בהנחה שערך הקוהזיה בקרום הוא אפס, ושכונן ההחלקה מקביל לכוונן המקורי של מאמץ הגזירה המרבי. השיטה פותחה על ידי Reches (1987) ויישומה לאזור הגלבוע מתואר על ידי Hatzor and Reches (1990).

טנזור המאמץ המתאים לכל השברים שנמדדו במחצבות צפון הגלבוע (גדעונה ואבינדב) מופיע באיור 10, ביחד עם הטנזורים המתאימים לסטיית חקן אחת לכל כיוון. הכיוון הממוצע של המאמצים הראשיים במונחים של כמות וכיוון נטית הווקטור הוא:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 = 8/122 \\ \sigma_2 = 81/302 \\ \sigma_3 = 0/32 \end{pmatrix}$$

באיור 10 מצוינים גם הדייקים אשר מופו באזור הגלבוע (איור 9). ניתן לראות באיור 10 שכונן הדייקים מתלכד עם כוון σ_1 , כצפוי. גיל הדייקים משתנה. הדייקים במחצבת חפציבה בני כ- 10 מ.ש. ואלו שבנחל אבינדב בני 4.7 מ.ש. כיון שחדירת הדייקים נכנעה לשדה המאמצים של הגלבוע ניתן להסיק ששדה מאמצים זה היה פעיל מהקריטקון העליון (גיל תחילת הקימוט של מבנה הפריעה שצירו מקביל לכיוון σ_3) עד לפני 4.7 מ.ש. (גיל חדירת הדייקים).

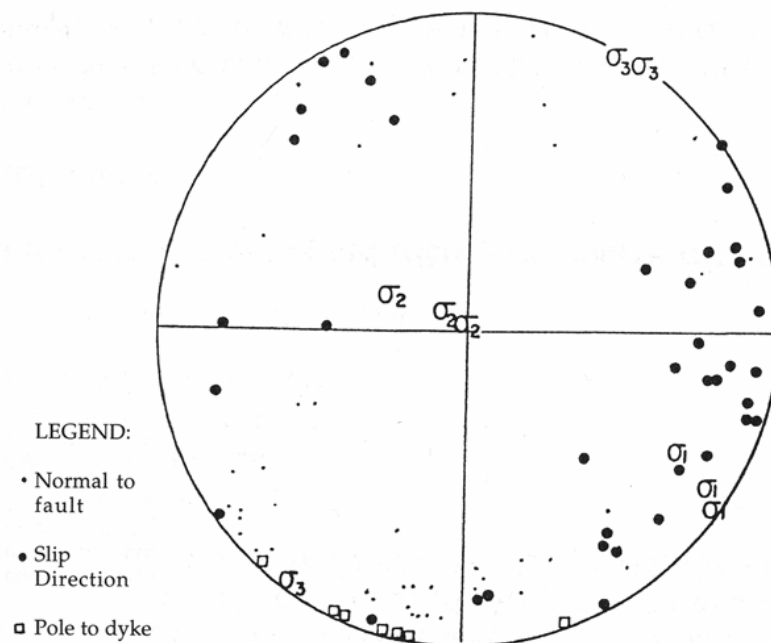


Figure 10: Lower Hemisphere projection of the Gilboa stress tensor, faults, slip vectors and dikes (Hatzor, 1988).

בעבר הועלו מספר השערות לגבי סגנון התנועה על גבי שבר הגלבוע. (Freund (1965 הציע, שלאורך שבר הגלבוע מתקיימת תנועה שמאלית לצורך פיזור המעוות באזור בית שאן עקב התנועה על טרנספורם ים המלח. לצורך פתרון בעיה זו חושב כיוון מאמץ הגזירה המרבי שהיה צריך להתפתח על גבי שבר הגלבוע תחת שדה המאמצים של הגלבוע אשר הוגדר באורח בלתי תלוי מניתוח שברים קטנים. ווקטור מאמץ הגזירה המרבי שחושב (τ_{max}) על גבי שבר הגלבוע מופיע באיור 11 וכוונו 60/40. כווי ההחלקה שנמדדו על גבי שבר הגלבוע מופיעים באיור 11 גם כן. כוון זה אכן מתלכד עם התוצאות החישוביות של τ_{max} לכן אין מקום להניח שתנועת ההחלקה על השבר הייתה אופקית.

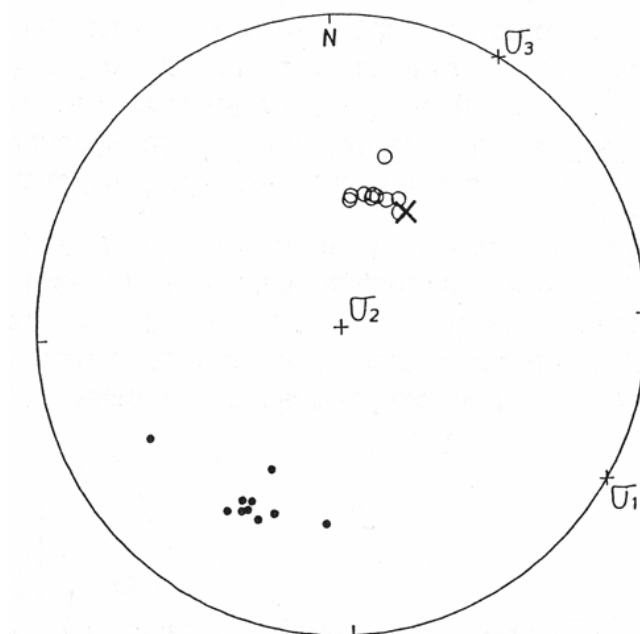


Figure 11: Lower hemisphere projection of the Gilboa stress tensor (sigma symbols), poles to the gilboa fault plain (dots), measured slip axes on the Gilboa fault (circles), and the calculated axis of the maximum resolved shear stress across the Gilboa fault (heavy cross). (Hatzor and Reches, 1990).

תחנות הסיוור

תחנה 1 – תצפית על נחל בזק ומבנה קמר הפריעה נ.צ. 1924/2018

בתחנה זו ניתן לצפות בחופעות הבאות:

- 1) קמר הפריעה והעתק נחל בזק
- 2) קונגלומרט אום-סבונה
- 3) קונגלומרט ואדי-מליח
- 4) גלישות

(1) קמר הפר'עה נחשף במגע עם העתק גדול ("העתק בזק" אצל חצור, 1988) באגף המערבי של הקמר הנטוי כ- 40 מעלות לכיוון צפון-מערב. ציר הקמר נוחת בשיעור של כ- 10 מעלות לכיוון צפון-מזרח. מבנה הפריעה נקבר בנקודה זו עקב השילוב של נחיתת ציר הקמר והחיתוך עם העתק בזק. העתק בזק כאן פועל כשבר נורמלי וכונו צפון - דרום. כ- 1 ק"מ דרומה מכאן ההעתק משנה את כונו לצפון-מערב.

(2) העתק בזק מעמיד את קונגלומרט אום סבונה מול סלעי חבורת יהודה הבונים את מבנה הפריעה. למרות שקונגלומרט אום סבונה נמוך כיום טופוגרפית ממחשופים נרחבים של סלעי חבורת יהודה, לא נמצאו בין מרכיביו הקלסטיים חלוקים שנגזרו מיחידה זו. כל החלוקים שנבדקו הם ממקורות איאוקנים או ניאוגנים, המצויים פיזית במרחק רב מהמחשוף. המסקנה המתבקשת לפיכך היא שבמהלך הצטברות קונגלומרט אום-סבונה סלעי חבורת יהודה, כמו גם סלעי חבורת הר-הצופים, עדיין לא היו חשופים.

(3) העתק נוסף מפריד בין הטרסה של קונגלומרט אום סבונה וקונגלומרט ואדי מליח (איור 12). בניגוד לטרסה העליונה הקדומה יותר של אום סבונה, קונגלומרט ואדי מליח בטרסה התחתונה מכיל מרכיבים מכל היחידות החשופות, כולל אבני חול מחבורת כורנוב. מיון החלוקים גרוע וצורתם מזוהת. טרסה זו נטויה קלות אל מרכז הבקע ומייצגת שלב ארוזיבי צעיר בשולי הבקע.

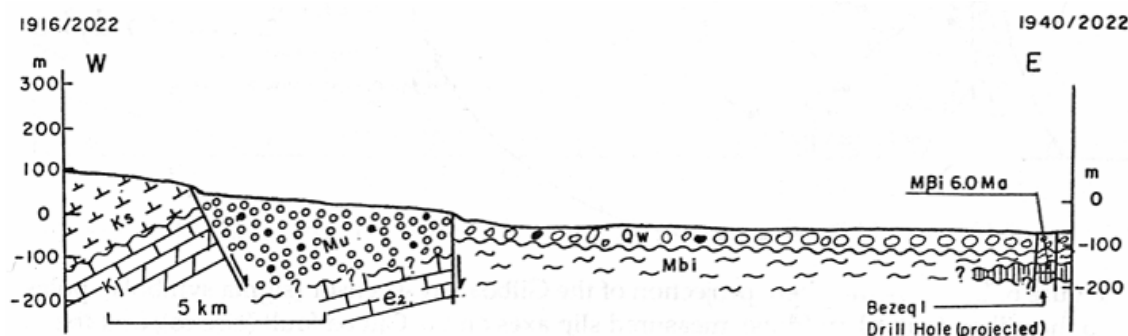


Figure 12: An E-W cross section along the southern bank of Nahak Bezeq (after Hatzor, 1988. K-Ar ages from Shaliv, 1990).

(4) במבט צפונה ניתן להבחין במסלע איאוקני מונח כציפוי על גבי קונגלומרט ואדי מליח, ואום סבונה. "ציפוי" זה אינו אלא שריד של גלישה איאוקנית באורך כ- 1200 מ' המכסה את כל החתך של חבורת הר הצופים בנוסף ליחידות הקלסטיות הצעירות יותר. גלישות כאלו שכיחות לאורך המורדות המזרחיים של הגלבוע (איור 13).

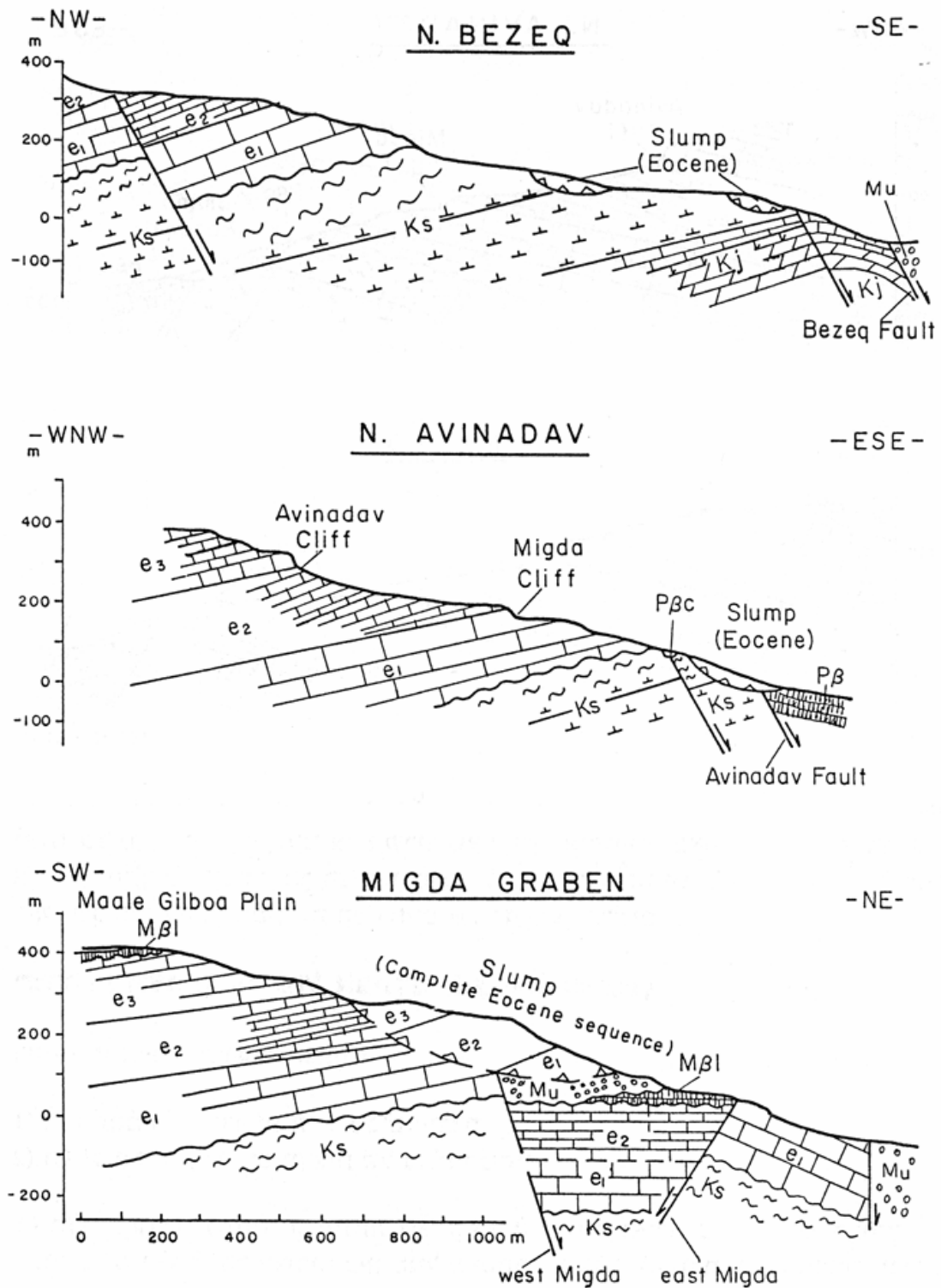


Figure 13: Top: A cross section along the western flank of the Faria anticline at Nahal Bezeq, no vertical exaggeration; Center: A cross section along the northern bank of Nahal Avinidav, no vertical exaggeration; Bottom: A cross section across Migda Graben, no vertical exaggeration (after Hatzor, 1988).

תחנה 2 – תצפית על נחל אבינדב נ.צ. 19270/20675

בתחנה הזו נצפה בתופעות הבאות:

- 1) אי התאמה בין חבורות הר הצופים ועובדת
- 2) העתק אבינדב, דייקים וקילוח של בזלת הכיסוי

1) חבורת עבדת בתחנה זו מונחת באי התאמה זוויתית ואירוזיבית על גבי חבורת הר הצופים. גג חבורת הר הצופים כאן מגיל מאסטריכט עליון (תצורת ע'רב) ובסיס חבורת עבדת כאן מגיל איאוקן תחתון חלק עליון (תצורת מרוז). בסיס היחידה התחתונה של החתך האיאוקני המוכרת ברחבי הארץ (תצורת עדולם) חסר בגלבו. עומק הגידוע משתנה מעל ומתחת לגבול קרטיקון-טרציר במקומות שונים. ההשפעה של המשך קימוט מבנה הפריעה מוכרת בכל האזור, כולל סינקלינת שכם והסרטבה. בעזרת סטרטיגרפית אירועים ניתן להתחקות אחר אירוע הקימוט עד הנגב הצפוני, באנטיקלינת רחמה (איור 6).

2) העתק אבינדב מעמיד קילוח עבה של בזלת הכיסוי כנגד סלעי חבורת הר הצופים (איור 13). בהמשכו צפונה העתק מיגדע המערבי יוצר את השוליים המערביים של גרaben מיגדע (איור 13). קילוח הבזלת שלפנינו מתעבה לכיוון הבקע, מכסה את השבר המזרחי של גרaben מיגדע, ומועתק על ידי שבר שוליים נוסף (איור 13 למטה). בהמשכו הקילוח מכסה את הפירוקלסטים של הבזלת התיכונה במחצבת רויה (איור 14). דייקים של בזלת הכיסוי נחשפים מערבה יותר במחצבת הגיר בנחל אבינדב. דייקים אלו עשויים היו לשמש כמקור של קילוח הבזלת שלפנינו. יחסי השדה באזור מצביעים על סדר האירועים הבא:

- א) פעילות שבר מיגדע המערבי (בכיוון צפון-מערב) לאחר הצטברות בזלת תחתונה, התרוממות הבלוק המערבי.
- ב) הצטברות קלסטים במורדות המזרחיים (קונגלומרט אום סבונה).
- ג) הרבדת סדימנטים אגמיים על גבי המדרונות המזרחיים (חואר בירה) מלווה בפעילות פירוקלסטית (טופים של רויה).
- ד) פעילות על גבי שבר מיגדע המזרחי והתרוממות הבלוק המזרחי. יצירת גרaben מיגדע.
- ה) חדירת דייקים של בזלת הכיסוי והתפרצות קילוח בזלת המכסה את שני שבירי גרaben מיגדע ואת הפירוקלסטים של רויה.
- ו) פעילות על גבי העתק אבינדב (כיוון צפון, צפון-מערב), ניתוק הקילוח מצינורות ההזנה, הורדת הבלוק המזרחי.
- ז) פעילות צעירה על גבי העתקים בכיוון צפון - דרום השוברת את בזלת הכיסוי ומנמיכה את הבלוקים המזרחיים. יתכן שהגלישות האיאוקניות על גבי בזלת הכיסוי (איור 13 מרכז ולמטה) וגרaben מיגדע (איור 14) משתייכות לשלב טקטוני זה.

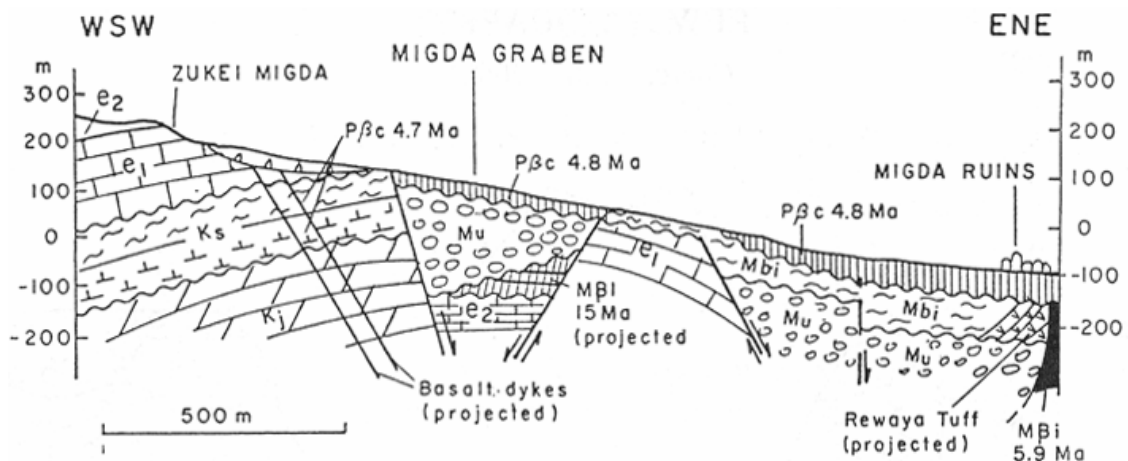


Figure 14: A cross section across Eastern Gilboa, no vertical exaggeration (after Hatzor, 1988, K-Ar ages from Shaliv, 1990).

תחנה 3 – לוע וולקני במחצבת רוויה נ.צ. 19402/20622

בתחנה זו ניתן להבחין בתופעות הבאות:

- (1) פירוקלסטים של יחידת הבולת התיכונה
- (2) חוואר בירה
- (3) בולת הכיסוי

(1) המחצבה ממוקמת בשולי נחל אבינדב, ממערב למושב רוויה. במחצבה נחשפות שכבות של פירוקלסטים נטיים מערבה בחלק המערבי בשיעור של כ- 10 מעלות ומזרחה בחלק המזרחי בשיעור של כ- 10 מעלות גם כן. החתך מכיל אפר, לפילי, בלוקים ופצצות וולקניות. העובי המרבי שנחשף הוא כ- 20 מ'. במזרח הסדרה הפירוקלסטית גדועה על ידי סדימנטים של תצורת בירה ועל ידי חלוקים של מילוי נחל ובמערב על ידי אופק של קרקע מאובנת המכוסה בקילוח בולת כיסוי, שגילה כ- 4.8 מליון שנה (איור 15). שלש פצצות וולקניות מהסדרה הפירוקלסטית תוארכו וגילן נמצא כ- 5.7 מליון שנה. מקור ההתפרצות הוולקנית לא נמצא, אך לפי הנטיות נראה שהיה במזרח במרחק לא רב. באחרונה, עם הרחבת העבודות במחצבה נחשף דייק בולתי אנכי בכיוון 290 מעלות החוצה חלק מסדרת הפירוקלסטים. הדייק נמצא בתהליכי קביעת גיל רדיומטרי במעבדות המכון הגיאולוגי.

(2) תצורת בירה נחשפת בקיר הדרומי מזרחי של המחצבה. בבסיס התצורה שכבת חלוקים של גיר איאוקני וחומר פירוקלסטי, המונחת באי התאמה זוויתית על הפירוקלסטים (איור 12). מיון החלוקים גרוע. מעל החלוקים שכבה בעובי של 0.8 מ' הבנויה משכבות דקות של חרסית חומה בחילופין עם קירטונים סילטיים-חרסיתיים אפורים ירקרקים, למינריים ושכבות קלקרניט דקיקות. גג החתך שם בנוי משכבה בעובי 1 מ' של קירטון חווארי, לבן-ירקרק המכיל פורמיניפירה ואוסטרקודה של מים ברקיים.

3] קילוח של בזלת הכיסוי מונח על סדרת הפירוקלסטים בצפון (איור 15). הבזלת קשה, מסיבית, אלקלי אוליבינית, בעלת טקסטורה גלומפורפיריתית. הפנוקריסטים של פלגיוקלז, אוליבין ואוגיט והמטריקס לרוב בטקסטורת זרימה.

יחסי השדה הנחשפים כאן מצביעים על סדר האירועים הבא:

- א) התפרצות פירוקלסטים מיחידת הבזלת התיכונה מלוע באזור המחצבה.
- ב) דעיכת הפעילות והצפת המדרון המזרחי של הר הגעש בסדימנטים של תצורת בירה. כתפי הלוע מונעים התפשטות חוואר בירה מערבה.
- ג) קילוח של בזלת הכיסוי המגיע מאזור נחל אבינדב במערב בא במגע עם כתפי הלוע הפונים מערבה ונעצר שם. כתפי הלוע אינם מאפשרים את התקדמות הקילוח מזרחה ולכן הבזלת אינה מכסה את חוואר בירה.
- ד) אירוזיה של כתפי הלוע וישור פני השטח הצטברות קונגלומרט ואדי מלית.

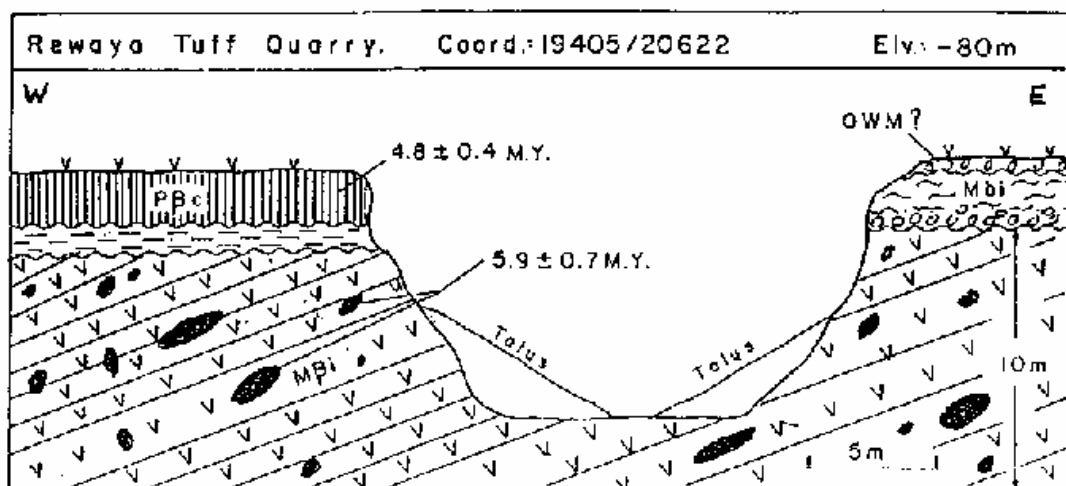


Figure 15: Schematic cross section across the Rewaya Tuff quarry (after Hatzor, 1988; K-Ar ages from Shaliv, 1990).

תחנה 4 – תצפית על החתך האיאוקני (מכביש העליה למירב נצ. 1912/2059)

מתחנה זו נצפה על שלוש יחידות המיפוי האיאוקניות בגלבוע:

- 1) תצורת מרוז
- 2) תצורת יזרעאל
- 3) תצורת בר-כוכבא

1) תצורת מרוז מורכבת מחילופין של גיר קריסטליני עשיר בנומוליטים מצוררים ואופקים קירטוניים עם פאונה פלנקטונית. היא מונחת באי התאמה זייתית ואירוויזיבית על גבי תצורת עירב.

המגע ברור עקב המעבר החד מקירטון של תצורת ע'רב לגירים של תצורת מרוז. אי-התאמה זו מוכרת במרכז הארץ (איור 5) וניתן לזהותה גם בנגב (איור 6).

תצורת מרוז עוברת מספר שינויים פציאליים בגלבוה בכון ניצב לציר קמר הפריעה (איור 14). רצועות הפציאס מצינות מעבר מפציאס רדוד סמוך לשיא המבנה, דרך פציאס הקולט מרכיבים דטריטיים במורד המבנה (איזור הר ברקן). לפציאס של אגן פתוח עם עליה ניכרת בתכולת המרכיב הקירטוני (איזור הר גיבורים).

התצורה שומרת על עובייה, כ-180 מ', וגגה מתאפיין במצוק מסיבי עם מערות. מצוק זה בר מיפיו לכל אורך מדרונות הגלבוה המזרחי.

2 תצורת יזרעאל, הבנויה מגיר ביומיקריטי משוכב דק ודל בפאונה, מונחת בהתאמה על גבי המצוק המסיבי בגג תצורת מרוז, ומתחת למצוק המסיבי בבסיס תצורת בר-כוכבא. התצורה יוצרת מדרונות מתונים התחומים מעל ומתחת במצוקים מסיביים. עובי התצורה משתנה מכ-167 מ' באזור נחל בזק לכ-50 מ' בצפון הגלבוה. היחידה בת מיפיו בכל מורדות הגלבוה המזרחי ובצפון הגלבוה.

3 תצורת בר-כוכבא מתאפיינת בסדרת מצוקים מסיביים בבסיסה. סלעי התצורה בבסיס בנויים גיר ביומיקריטי עשיר בנומוליטים ואצות, אשר עובר בהדרגה לגיר קירטוני המכיל פאונה פלנקטונית. העובי המרבי של התצורה הינו כ-100 מ' באזור נחל בזק. באזור מעלה גלבוה מונחים על גג התצורה קילוחים של בזלת תחתונה. המצוק בבסיס התצורה קל לזיהוי בכל רחבי הגלבוה.

תחנה 5 – תצפית על גרben מיגדע ממרומי הגלבוה נ.צ. 1908/2072

בתחנה זו נצפה בתופעות הבאות:

- 1 שברי הגרben המזרחי והמערבי
- 2 מחשופים של בזלת תחתונה בראש הגלבוה ובתוך הגרben
- 3 קילוח של בזלת הכיסוי המכסה את שבר מגדע המזרחי
- 4 גלישות ענק של מסלע איאוקני על גבי שבר מיגדע המערבי

1 גרben מיגדע, הנמצא במדרונות המזרחיים של הגלבוה, הינו תופעה סטרוקטורלית מעניינית. מיפיו מפורט של הגרben מופיע באיור 16. הגרben תחום משני עבריו בשברים נורמליים: שבר מגדע המזרחי במזרח ושבר מגדע המערבי במערב. שבר מגדע המערבי מרים את הבלוק המערבי ומעמיד את קונגלומרט אום סבונה כנגד גג חבורת הר הצופים (איור 17). שבר מגדע המזרחי מוריד את הבלוק המערבי ומעמיד את קונגלומרט אום סבונה ואת הבזלת התחתונה, בתוך הגרben, כנגד תצורת מרוז. לפי נטיית הבלוק האיאוקני היוצר את תשתית הגרben, בשיעור של כ-27 מעלות דרומה, נראה ששברי הגרben פועלים כשברי מספריים וזריקתם הולכת וגדלה לכיוון דרום (איור 17).

2 קילוח של בזלת תחתונה מופיע באזור התצפית בראש הגלבוה. גיל הקילוח כ-16.8 מליון שנה. קילוח של בזלת תחתונה נמצא בתוך גרben מגדע כנגד שברי השוליים וגילו כ-15.1 מ.ש. ניתן

לראות בגופים אלו של בזלת תחתונה שרידים של אותו שדה וולקני קדום אשר כיסה את האזור לפני השבירה.

3] העתק מגדע המזרחי מכוסה על ידי קילוח של בזלת הכיסוי מגיל 4.8 מ.ש. (תרשימים 16, 17). הקילוח מועתק על ידי שבר מיגדע המערבי בשיעור של כ-100 מ'.

4] גלישה גדולה מסגנון slump מכסה את שבר מגדע המערבי (איור 8 תחתון) ומכילה בתוכה חתך שלם של חבורת עבדת.

על סמך התצפיות האלו ניתן לשחזר היסטוריה טקטונית כדלהלן:

א] הצטברות בזלת תחתונה במזרח הגלבוע (איזור הישוב מעלה גלבוע) כאשר איזור זה מהווה חלק מאגן ההצטברות של בזלת זו.

ב] תחילת פעילות על גבי שבר מיגדע המערבי והעתקת הבזלת התחתונה. במקביל הצטברות קונגלומרט אום סבונה.

ג] שבירה נורמלית על גבי שבר מגדע המערבי וניחוק קונגלומרט אום סבונה מאגן ההשקעה יצירת גרaben מגדע.

ד] קילוח בזלת הכיסוי דרך דייקים, כמו אלה הנחשפים בנחל אבינדב, זרימת הקילוח מזרחה וכיסוי העתקי הגרaben לכיוון מזרח.

ה] התחדשות הפעילות על שבר מגדע המערבי והעתקת בזלת הכיסוי בשיעור של כ-100 מ'.

ו] שבירה חדשה בכיוון צפון-דרום בשולי הבקע השוברת גם את בזלת הכיסוי.

תחנה 6 – סיור לאורך העתק הגלבוע נ.צ. 1902/2134

בתחנה זו נלך לאורך שבר הגלבוע. נתחיל בגן היפני של קיבוץ בית-אלפא ונסיים באינטרוזיה של חפציבה (תחנה 7). נדון בסגנון השבירה ובשדה המאמצים בגלבוע.

השבר שלאורכו נסייר נראה כשבר נורמלי: נטייתו בין 55 ל-60 מעלות לכיוון 005 עד 052. סימני ההחלקה שנמדדו על גבי השבר נוחחים כ-43 עד 57 מעלות לכיוון 005 עד 021. מניחות מספר קידוחים אשר חדרו דרך הבלוק המורד נמצא שזריקת השבר כ-750 מ' מול מרכז הגלבוע. הזריקה קטנה לצדדים עקב מבנה הכפיפה של ראש הגלבוע (איור 3).

נושא ניתוח שדה המאמצים נדון בהרחבה בפרק "מבנה" לעיל (תרשימים 10, 11).

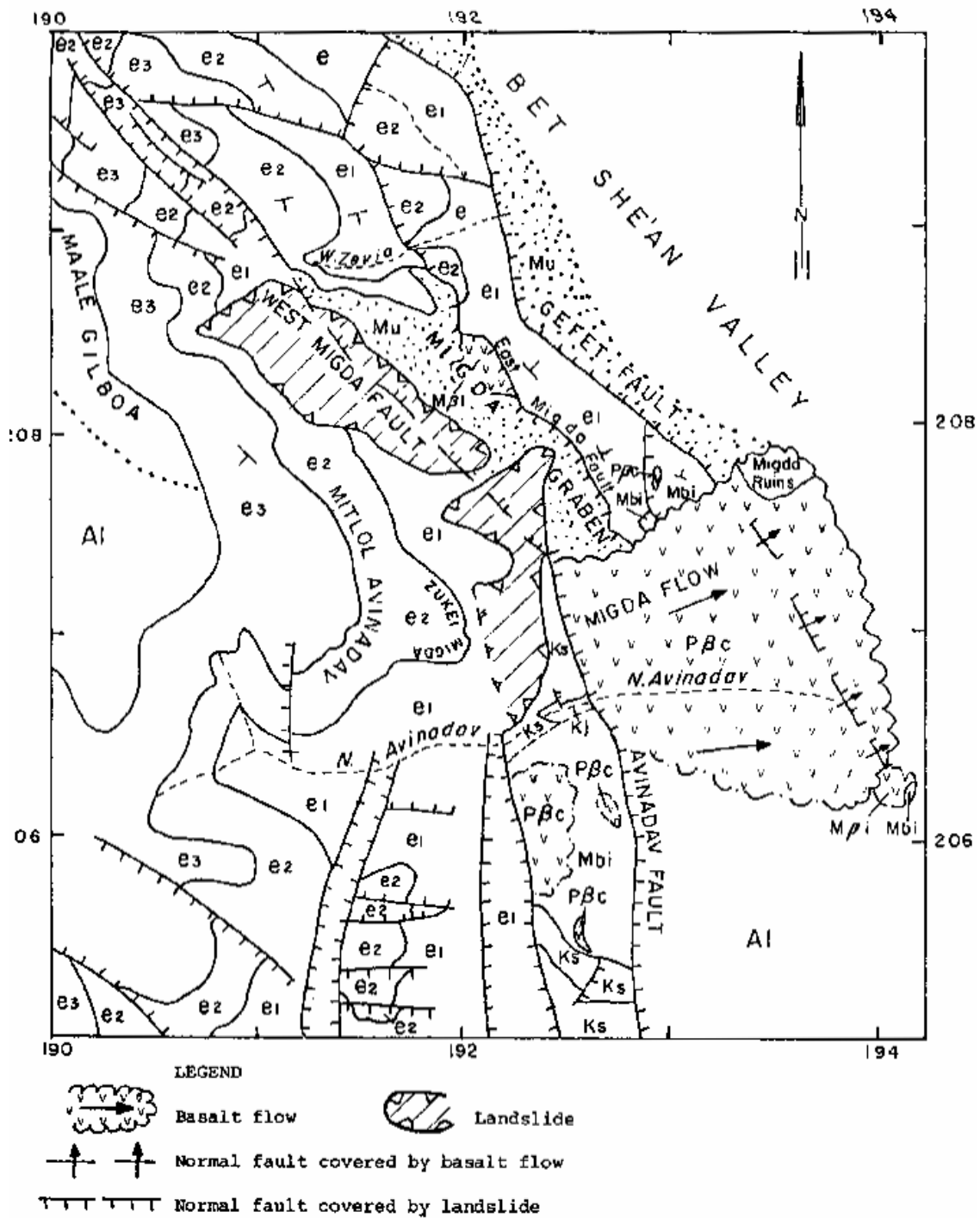


Figure 16: A detailed geological map of Migda Graben and vicinity (after Hatzor, 1988).

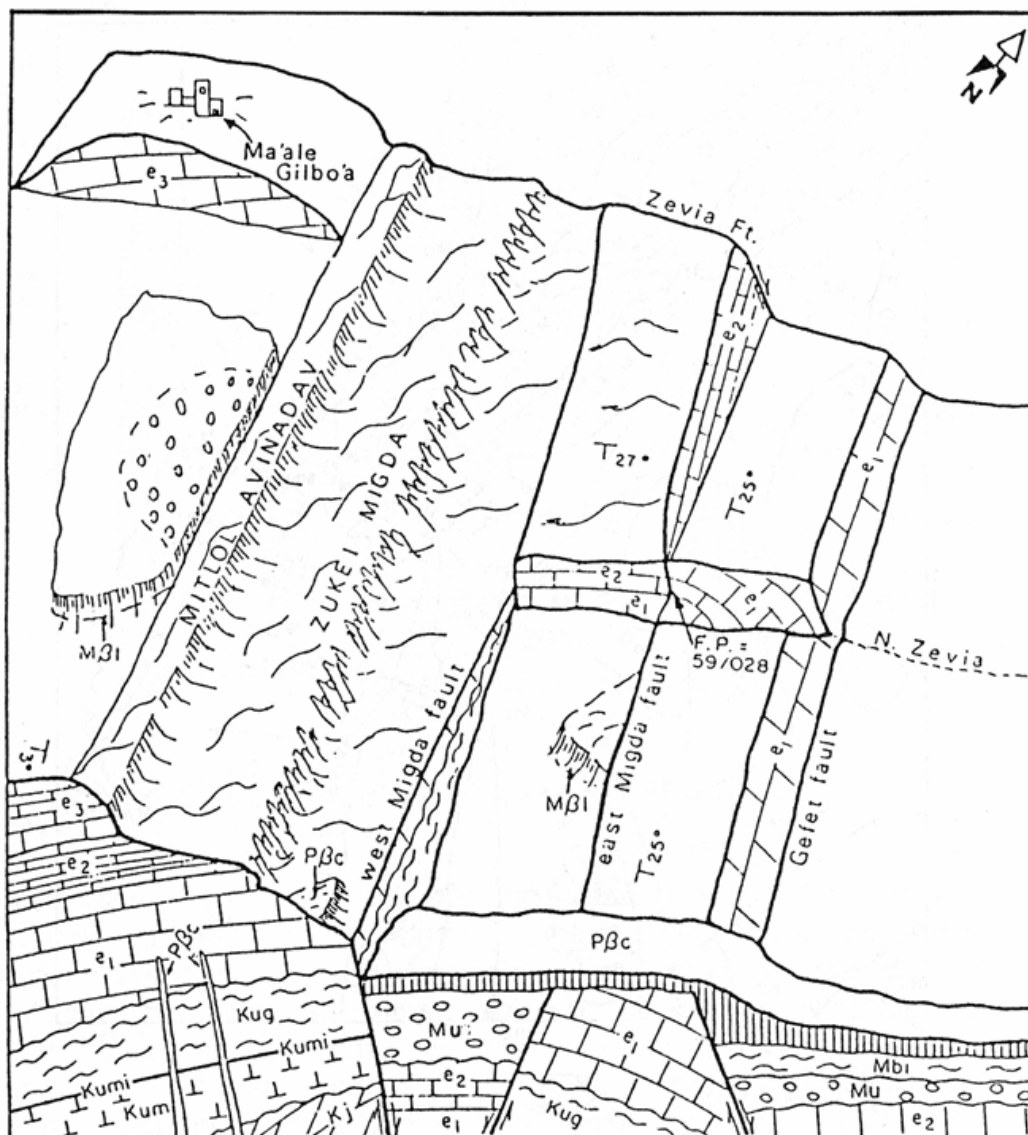


Figure 17: A schematic block diagram of Migda Graben (after Hatzor, 1988).

תחנה 7 – מחדר מגמטי במחצבת חפציבה נ.צ. 1898/2139 היסטוריה של המחצבה

האדמה שייכת לקק"ל. תעשיית אבן וסייד הפעילה את אתר המחצבה עם שותפות מסוימת עם קיבוץ חפציבה וקיבוץ בית השיטה. עפ"י הניירות המחצבה הייתה פעילה בין השנים 1945 ו-1953 בערך. ישראל וייס היה מנהל המחצבה וחיים בר און (קופס) היה איש הפיצוצים (חומר נפץ).

במחצבה עבדו פועלים דרוזים וערבים מאזור נצרת הם היו חלק מצוות העובדים של המחצבה. בשנים הראשונות של המחצבה חצבו בה חצץ בגדלים שונים. טכניקת העבודה הייתה פשוטה: ביצוע פיצוץ מבוקר,

מהפיצוץ החומר מתפורר בגדלים שונים, הפועלים אוספים ומעמיסים את השברים לתוך כרוניות הנדחפות ידנית על פסי ברזל עד למתקן הגריסה. המגרסה הייתה בנויה על מבנה בטון גבוה, החומר שהובא יורד לתוך מבנה קוני עם פתח שפיכה המיועד למילוי המשאיות. עם הזמן הסתמן שחומר הגלם הנו חומר קשה במיוחד. על כן, "אבן וסיד" הביאו שני מומחים איטלקיים בכדי לנסות ולשנות את יעודה של המחצבה כך שיהיה ניתן להפיק ממנה לוחות שיש. מטבע הדברים שיטות העבודה השתנו כך שבמקום הפיצוצים המסיביים התחילו לנסר גושים גדולים משכבות הסלע ולהזיזם בעזרת פיצוצים מבוקרים. מצד אחד, מהר מאד גילו שחומר הגלם המיועד לשיש נמצא ברמה נמוכה, הכיל "ורידים" שגרמו לשבר המשטחים, ומד שני גריסת החומר הייתה קשה בשביל חצץ. על כן, אבן וסיד סגרה המחצבה בתאריך 1953 בערך.

שיקום

הקרן לשיקום מחצבות של משרד התשתיות החליטה לבצע שיקום מסודר של המחצבה. להלן הטקסט אשר יופיע על גבי שלט קבוע אשר יוצב באתר לאחר גמר השיקום:

תקציר (לשימוש ככותרת לאיור)

במחצבת חפציבה נחשף מחדר מגמתי שגילו כ-10 מליון שנה לפני ההווה. המחדר התמיר את סלעי הדולומיט אליהם הוא חדר והתקבל סלע מטמורפי המכונה "שיש חפציבה". אירוע ההתמרה התרחש ככל הנראה בעומק קבורה של כ-10000 מטר תחת פני השטח. סלעי המחדר וכן סלעי השיש נחשפים לאורך מישור ההעתקה של הגלבו. משמעות הדבר, שהתרוממות הגלבו לאורך מישור ההעתקה, מאוחרת ל 10 מליון שנה.

דברי הסבר (על גבי שלט בצד)

גוש הרי הגלבו הנישא כיום מעל עמק חרוד ובקעת בית שאן לגובה 400 מטר מעל פני הים בעבר הלא רחוק נמוך הרבה יותר, אולי אפילו בגובה פני הים.

תצורות הסלע הבונות את הגלבו מאפשרות לפענח את ההיסטוריה הגיאולוגית המרתקת של התרוממות הגוש ההרי בפרט ומבנה האזור בכלל.

שפכי בזלת מתצורת "הבזלת התחתונה", אשר הצטברו באגן יבשתי נרחב אשר כיסה את אזור בקעת בית שאן מגיל 15 - 18 מליון שנה לפני ההווה, ואשר נמצאים גם כיום למרגלות הגלבו משולבים בתצורת "הורדוס", נמצאו בראש המצוק המזרחי של ההר סמוך לקיבוץ מעלה גלבו ברום 420 מטר ביחד עם חלוקים עגולים אשר הוסעו באמצעות מערכות ניקוז מפותחות למרחק רב. ניתן להסיק מכך כי תחילת התרוממות ההר מאוחרת לגיל הבזלת התחתונה.

במחצבת חפציבה נחשף מחדר מגמתי אשר גילו כעשרה מיליון שנה. מחדר זה התמיר את סלעי הדולומיט לתוכם הוא חדר בתהליך המכונה "מטמורפזה של מגע", ומשקולי לחץ-טמפרטורה אנו מניחים כי אירוע ההתמרה התרחש בעומק של לפחות 10000 מטר מתחת לפני השטח. כיום העתק הגלבו שכוונו צפון-מערב חושף את המחדר המגמתי. לפיכך העתק הגלבו אשר עקב פעילותו התרומם גוש ההרים הצפוני בגלבו החל לפעול מאוחר לדירת הגוף המגמתי אשר נמצא כאן במחצבה.

בנוסף, בשיפולי הגלבו המזרחיים בסביבת נחל אבינדב, נמצא קילוח של בזלת מגיל חמישה מליון שנה, המשתייך לתצורת "בזלת הכיסוי", אף הוא מועתק על ידי סדרת העתקים בשיפולי הגלבו המזרחי, אך בשיעור קטן בהרבה משיעור ההעתקה האנכית של קילוחי הבזלת התחתונה. המסקנה מכך שיתכן שהמורדות המזרחיים של הגלבו החלו להתרומם לאחר תקופת הבזלת התחתונה, אך ללא כל ספק המשיכו להתרומם גם לאחר התפרצות בזלת הכיסוי, לאורך מערכות העתקים בכון צפון-צפון-מערב.

לסיכום הרי הגלבו מהווים אזור דינמי אשר מגיב למשטר המאמצים הפועל על קרום כדור הארץ באזורנו. במפגש בין בקעת הירדן ועמק חרוד, סביר להניח כי פעילות זו נמשכת גם כיום ומתבטאת באירועים סיסמיים בעוצמות שונות לאורך מערכות העתקים אלו.

גיאולוגיה

במחצבת השיש של חפציבה בבולק המורם של דולומיט סחנין נחשפים מספר דייקים בכוון 280 אשר מוסטים על ידי העתק הגלבו. המחדר המגמטי כיום בגובה פני הים. גיל אחד הדייקים שתוארך הוא 10.2 מיליון שנה. הדייקים יצרו מטמורפיזם של מגע בעת חדירתם, מטמורפיזם זה נחקר על ידי Soudry and Lang (1978). העתק הגלבו מעמיד כנגד הקומפלקס המטמורפי המורם את תצורת הורדוס עם קילוח שנדגם ותוארך לגיל 15 מ.ש. (איור 18).

אופי הפירוק והרקריסטליזציה של הדולומיט וכן מאסף המינרלים המטמורפיים שנוצרו בעת המחדר נקלצט, מגנזיט, ברוציט) מלמדים על מטמורפיזם של מגע בלחץ וטמפרטורה נמוכים: 50–250 bar ו-600–700 מעלות (Soudry and Lang (1978). אם נניח ערך ממוצע של 150 bar וצפיפות מסלע של 2.8 גר'סמ"ק הרי שהמטמורפיזם צריך היה להתרחש לפחות בעומק 540 מ', ואם נניח ערך לחץ קיצוני של 250 bar הרי שדרוש עומק של לפחות 890 מ'. עובי החתך כיום מעל המחדר הוא כ-955 מ' של מסלע קרבונטי המשתייך לגג חבורת יהודה, חבורת הר הצופים וחבורת עבדת. גובה המחדר כיום הוא פני הים, ולכן לפני כ-10 מ.ש. המחדר שלפינו צריך היה להיות בעומק של 900–1000 מ'.

לאור האמור לעיל ניתן לשחזר את השלבים הטקטוניים הבאים עבור צפון הגלבו:

- א) הרבדת תצורת הורדוס וקילוחים של בזלת תחתונה לפני כ-15 מ.ש. כאשר צפון הגלבו שייך לאגן ניאוגני פנימי.
- ב) חדירה מגמטית בעומק משוער של כ-1000 מ' מתחת לפני הים לפני כ-10 מ.ש. והתפתחות מטמורפיזם של מגע מדרגה נמוכה בסלעי דולומיט סחנין.
- ג) פעילות על גבי שבר הגלבו מאוחר ל-10 מ.ש. שבר הגלבו פועל כשבר נורמלי.

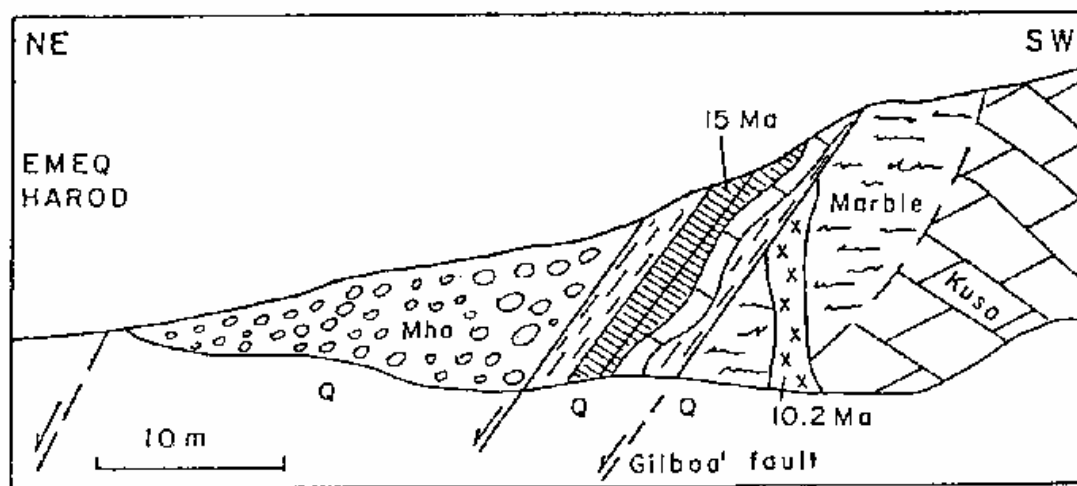


Figure 18: A schematic cross section through the Heftzi-Bah Quarry (from Hatzor, 1988. K-Ar ages from Shaliv, 1990).

עדויות מאתרים נוספים מאפשרות עידון של היסטורית התנועה על גבי שבר הגלבו.

העדויות הן כדלהלן:

- 1) בראש הגלבוע ישנו משטח גידוע החותך שדה וולקני של בזלת תיכונה מגיל 6.3 מ.ש.
- 2) באזור קיבוץ יזרעאל שבר הגלבוע מעתיק את בזלת הכיסוי מגיל 5.3 מ.ש.
- 3) מישור השבר עצמו נשמר עדיין, כפי שניתן לראות בתחנה 6.

מנחנים אלו עולה שפעילות על שבר הגלבוע החלה מאוחר להצטברות בזלת הכיסוי ויתכן שנמשכת עד הווה. שדה המאמצים שהוגדר עבור הגלבוע עשוי לכן להיות זה הקיים גם היום.

מקורות

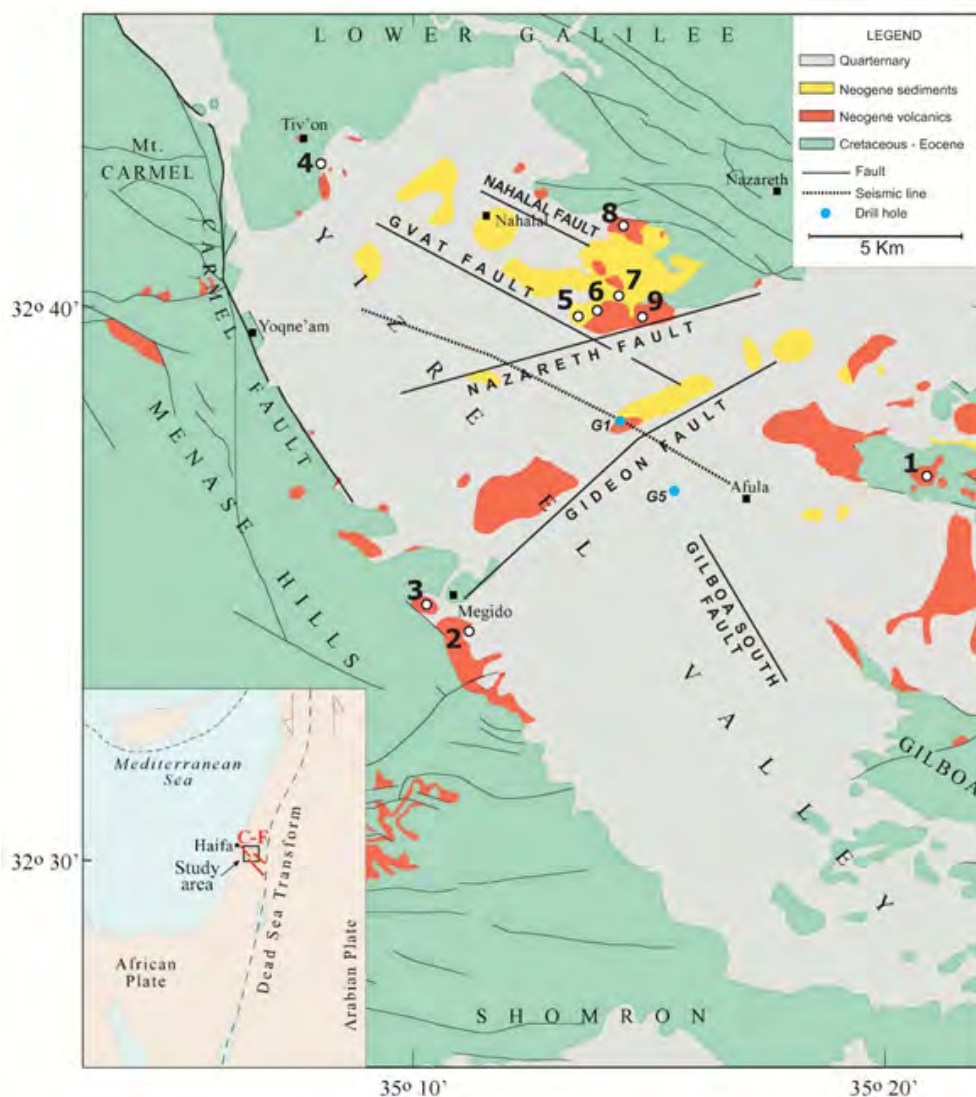
חצור, י., 1988. הגיאולוגיה של אזור הגלבוע. עבודת גמר לתואר מוסמך, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
מימון, י., שליב, ג., חצור, י., ולנג, ב., 1989. שולי הבקע מדרום לבית שאן ומזרח הגלבוע, מדריך לסיור, הכנס השנתי של החברה הגיאולוגית הישראלית, רמות.
מיכלסון, ח., 1979. הגיאולוגיה והפליאוגיאוגרפיה של רמת הגולן. עבודת דוקטור, אוניברסיטה תל אביב.
שולמן, נ., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
שליב, ג., 1990. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של אגנים יבשתיים ניאוגניים בצפון ישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

- Bentor, Y.K. 1961. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. *Geoch. Cosmochim. Acta* 25: 239–260.
- Breggren, W.A., Kent, D.V. and Flynn, J.J. 1985. Jurassic to Paleogene geochronology and chronostratigraphy, in: N.J. Snelling (ed.) *The chronology of the geological record*. Geological Society of London Memoir 10:141–195.
- Flexer, A. 1961. The geology of Mount Gilboa. *Bull. Res. Council of Israel* 10G: 64–72.
- Freund, R. 1965. A model of the structural development of Israel and adjacent areas since Upper Cretaceous times. *Geol. Mag.* 102: 189–205.
- Hatzor Y. H. 2000. Geological Map of Israel, 1:50,000, Sheet 6–I,II: Bet She'an. State of Israel, Ministry of National Infrastructure, The Geological Survey of Israel.
- Hatzor, Y. and Reches, Z. 1990. Structure and paleostresses in the Gilboa region, western margins of the central Dead Sea rift. *Tectonophysics*. 180:87–100.

- Hatzor Y., Benjamini C., Mimran Y. and Grossowicz L. P., 1994. The Eocene stratigraphy of Mt. Gilboa and Northern Samaria, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* Vol. 43, No. 1, pp.1–20.
- Picard, L. 1943. Structure and evolution of Palestine (with comparative notes on neighboring countries). Hebrew Univ., Jerusalem, Geol. Dept. Bull. 4(2–4).
- Reches, Z. 1987. Determination of tectonic stress tensor from slip along faults that obey the Coulomb yield criterion. *Tectonics* 6:849–861.
- Schulman, N., Rosenthal, E. 1968. Neogene and Quaternary of the Marma Feiad area, south of Bet Shean. *Isr. J. Earth Sci.* 17:54–62.
- Shaliv, G., Mimran, Y. and Hatzor, Y. 1991. The sedimentary and structural history of the Bet Shean area and its regional implications. *Isr. J. Earth Sci.* 40:161–179.
- Soudry, D. and Lang, B. 1978. Contact metamorphic marble at Mount Gilboa Northern Israel. *Isr. J. Earth Sci.* 27:117–123.

תחנות להכרת ההיסטוריה הוולקנית והסדימנטרית של עמק יזרעאל

גבי שליב
 עין כרם, ירושלים
 עמיר סנדלר
 המכון הגיאולוגי, ירושלים
 יהודית הרלבן
 המכון הגיאולוגי, ירושלים

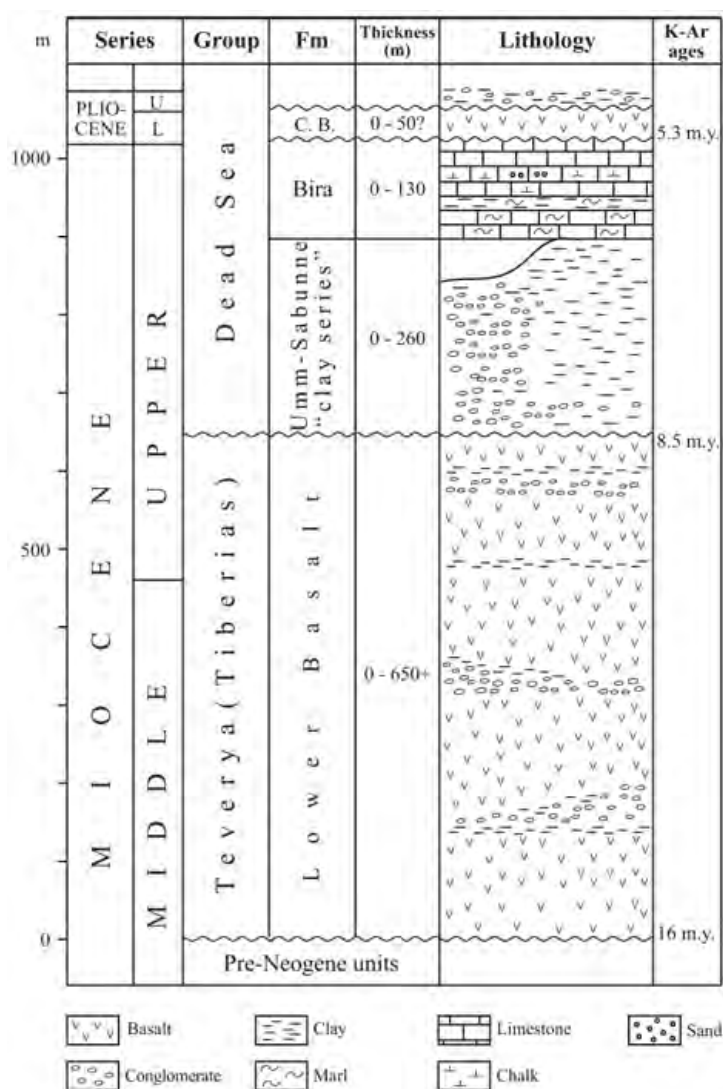


איור 1. מפה גיאולוגית כוללת של איזור הסיור ועליה: א) סימון שברים עיקריים (בשניים על פי Rotstein et al., 2004); ב) הקו הסייסמי המופיע באיור 7; ג) מיקום הקידוחים גדעון 1 וגדעון 5; מספרי תחנות הסיור.

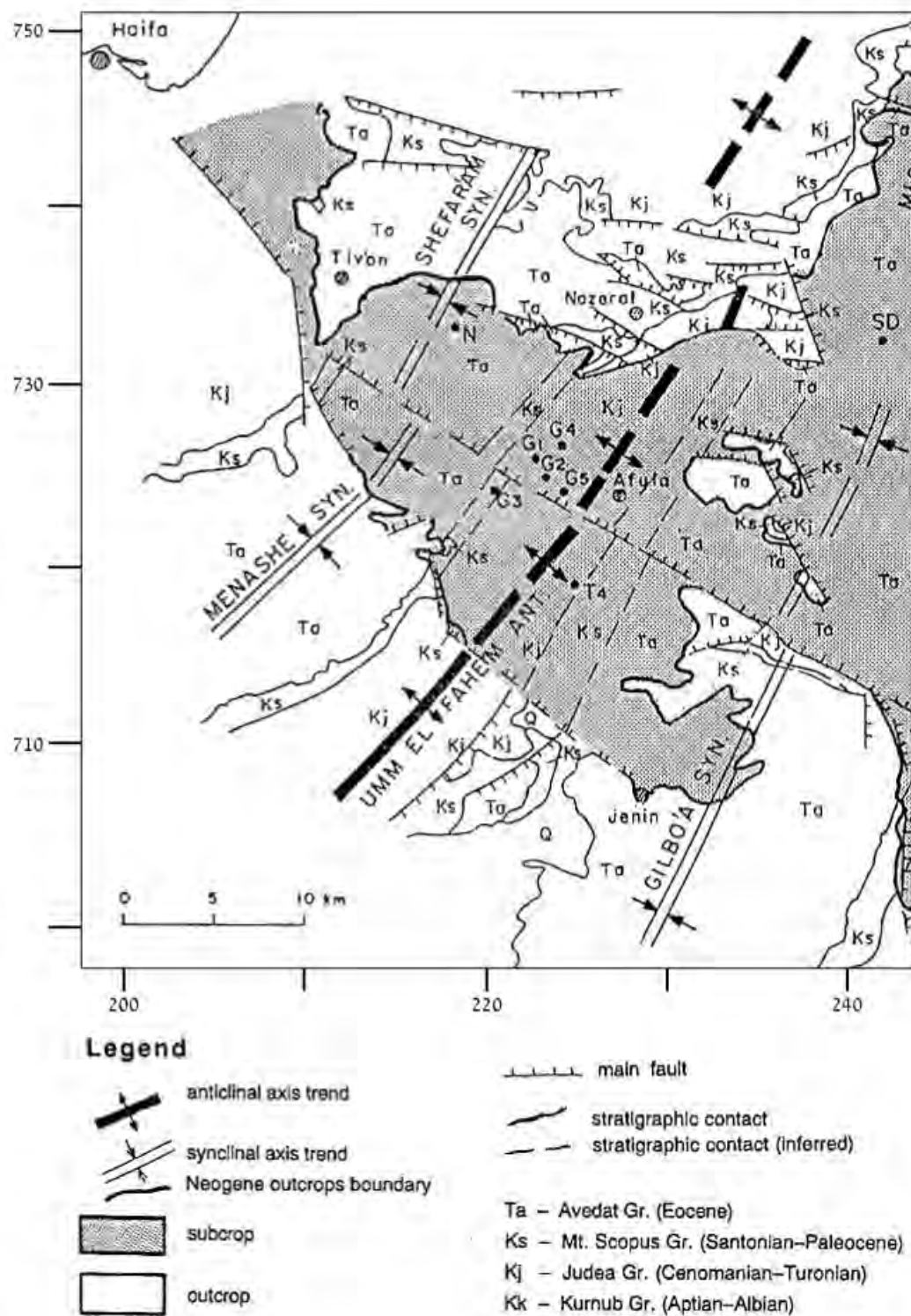
מבוא

רצועת עמקי הרוחב - זבולון, יזרעאל ובית שאן, הנמשכת לאורך 80 ק"מ מהים התיכון ועד לבקע ים המלח, מפרידה בין הגליל התחתון ורמת יששכר בצפון לבין הכרמל, רמות מנשה, הרי אום-אל-פחם והגלבוע בדרום. רצועת עמקים זו, במתווה הדומה לנוכחי, החלה להשתפל בנאוגן וממשיכה עד ההווה. אולם רוב ההשתפלות התרחשה כבר לפני הפליוקן.

הסיור נועד להכרת הקשר בין הטקטוניקה, הוולקניזם והסטרטיגרפיה באזור עמק יזרעאל. הכרת המבנה והסטרטיגרפיה של העמק עצמו מבוססת בעיקר על נתוני קידוחים ומדידות גיאופיזיות, מהם לא נוכל להתרשם במהלך הסיור. ואולם המשמעותיים מבין הנתונים הללו יוצגו במסגרת דברי ההסבר בתחנות אחדות (נכלולים בטקסט בהמשך). במהלך הסיור יוצגו קטעים של החתך הסטרטיגרפי המאפיין את העמק, מהם ניתן ללמוד על שלבים בהתפתחותו הטקטונית, הוולקנית והסדימנטרית במשך הנאוגן.



איור 2. חתך סטרטיגרפי סכמתי של סלעי הניאוגן בעמק יזרעאל. Fm = תצורה; C.B. = בזלת הכיסוי.



איור 3. מפת תשתית החתך הניאוגני (subcrop map) בעמק יזרעאל והסביבה (על פי שליב, 1991).

הבזלת התחתונה בעמק יזרעאל

אזור עמק יזרעאל החל לשקוע ולצבור חתך וולקני במיוקן התיכון, מאוחר לכ-16 מ.ש. הבזלת התחתונה (שולמן, 1962, בעקבות Blake, 1928) היא היחידה העתיקה ביותר מבין היחידות הניאוגניות-רצנטיות הבונות את מילוי עמק יזרעאל והיא כוללת בעיקר אלקלי-אוליבין בזלת (Oppenheim, 1962). בעמק יזרעאל הבזלת התחתונה מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי סלעים קרטיקוניים עד איאוקניים ובמקומות על קונגלומרט שהוא כנראה נאוגני. באזור העמק לא נמצאו סדימנטים של תצורת הורדוס הנאוגנית, אשר באזור טבריה הבזלת התחתונה מונחת ומתאצבעת עם חלקה העליון (שליב, 1991). בגג הבזלת התחתונה קיימת אי התאמה נוספת אשר מעליה מונחות תצורות אום סבונה, "סדרת החרסית" ובירה (ראה בהמשך). העובי המרבי החשוף של התצורה (450 מ') נמצא במתלול כוכב הירדן במזרח (שולמן, 1962); קידוח בלואר-1 הסמוך חדר בזלת תחתונה בעובי של כ-650 מ' (שליב, 1991). העובי המרבי של התצורה הידוע מעמק יזרעאל נמצא בקידוח גדעון 5 ממערב לעפולה (איור 1) שחדר בזלת בעובי של 630 מ' ולא הגיע לבסיסה. העובי המלא של יחידת הבזלת באתר זה ודאי גדול יותר לפי שגיל המטחן מתחתית הקידוח, בעומק של 1100 מ', הוא כ-13 מ.ש. (שליב, 1991). ואילו גיל שתי שכבות בזלת בחלק התחתון של קידוח גדעון 3, המצויות 20 ו-30 מ' מעל הקירטון הקמפני, נקבע לכ-15 מ.ש. (Sandler et al, 2004).

בשולי העמק נחשפים קונגלומרטים הבנויים מחלוקים של חבורת עבדת וחבורת יהודה, בעיקר של גיר, אך גם מצור ומדולומיט. במקומות שונים נמצאו גם חלוקים ספורים של בזלת, או גיר "אפוי". נתון זה מצביע על כך שהקונגלומרטים החלו להצטבר לאחר תחילת התפרצות הבזלת התחתונה. לאחרונה נמצא חיזוק לכך במציאת אופקי קונגלומרט בעלי הרכב דומה בין זרמי בזלת (Sandler et al, 2004) וראה תחנה 9. הקונגלומרטים הבהירים מיוחסים לתקופת קונגלומרט בית ניר משפלת החוף, כפי שהציע קודם לכן כפרי עבור קונגלומרטים זהים בגליל התחתון ובשולי העמק (Kafri, 2002).

בקידוחים בעמק יזרעאל נמצאו שכבות ביניים של חלוקים בתוך חתך עבה של הבזלת התחתונה, בעיקר חלוקי בזלת אך גם חלוקי גיר בעובי עד 15 מ', ושכבות של קרקע מאובנת, אדמדמה-חומה, גירית, בעובי של עד 50 מ' (נישקין, 1973). באזור מפעלי העמק מדרום למגדל העמק (נ. צ. 2223/7303, תחנה 6 בסיוור) נמצא מחשוף של שכבת חלוקים, בעובי שבין 1 ל-3 מ', מתחת לזרם עליון של בזלת המכוסה בפלאוסול. שכבות החלוקים מעידות על כך שבמהלך הצטברות החתך הבזלתי היו תקופות ממושכות של הפסקה בוולקניזם.

הקונגלומרטים בעמק, כמו גם תצורת הורדוס בעמק הירדן, מצביעים על סביבת הרבדה יבשתית בתקופת הבזלת התחתונה. שרידי קונגלומרט חופי שנמצאו באזור קופרין, במזרח רמות מנשה (Arad, 1965) ושרידי מאובנים ימיים שנמצאו בתל קשיש שמדרום לקריית חרושת, מלמדים על מיקומו של קו החוף במערב העמק בתחילת המיוקן התיכון - תקופת "ציקלג", לפני כ-15 מ.ש. (Buchbinder, 1996). העדר חלוקי בזלת

בקונגלומרט בקופרין, שאינו מרוחק ממרכזי ההתפרצות הוולקנית בשולי העמק (נגבעת יאשיהו עד גבעת קיפוד, להלן) מלמד על היוותו קדום, ככל הנראה, לראשית התפרצות הבזלת שם (לפני 12 עד 11 מ.ש). מקורות ההזנה של הבזלת: מקורות ההזנה של הבזלת בגליל הם דייקים, צינורות הזנה, סדנים והרי געש (שולמן, 1962; שליב, 1991).

דייקים: דייקים רבים שגילם כגיל בזלת תחתונה החדורים בסלעים של חבורת עבדת נחשפים בשולי העמק (נגבעת המורה, הגלבוע, שולי רמת מנשה, אזור התעשייה שמצפון-מערב למגדל העמק). הדייקים הם עדות להתפרצות הבזלת דרך סדקים. בגבעת המורה ובגוש עינדור שמצפונה מופו דייקים באורך של 100 עד 1400 מ', המופיעים בשתי מערכות, האחת בכיוון מערב-צפון-מערב והשניה בכיוון דרום-מערב, כשהדייקים חוצים זה את זה ונראים בו זמניים (Dicker, 1969).

מחדרים (intrusions) של סדנים (stocks) וצינורות הזנה (pipes): בגבעת המורה נמצאו 4 מחדרים בעלי מימדים של סדנים (Dicker, 1969 ; Oppenheim, 1962). הגדול שבהם נחשף בשטח של כחצי קמ"ר בפסגת ההר (תחנה 1). המחדרים מופיעים לאורך קו בכיוון מערב-צפון-מערב, המקביל להעתק השוליים בדרום גבעת המורה.

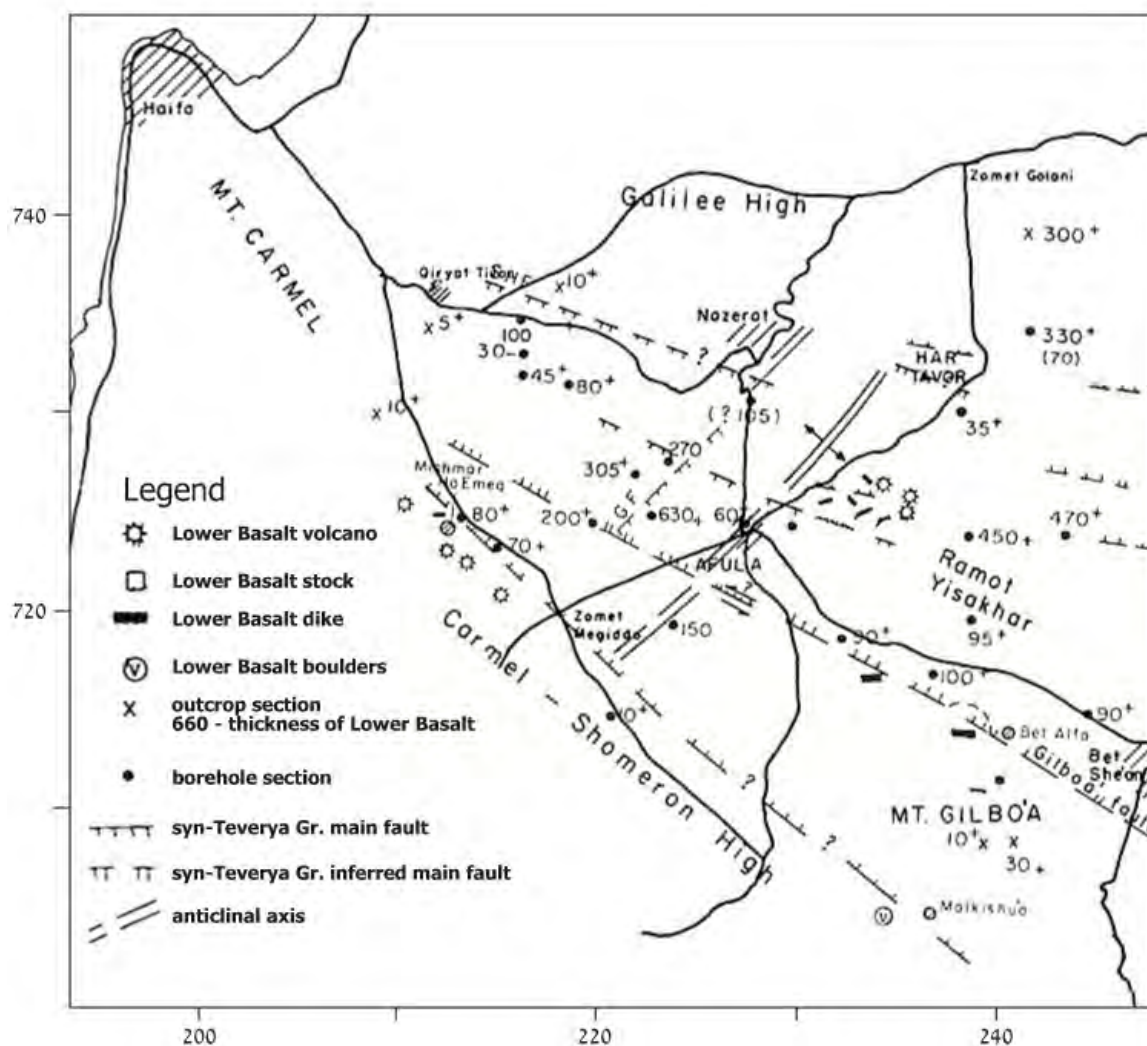
הרי געש: באזור גבעת המורה וגוש עינדור (תל עגול) מזוהים מספר אתרים כשרידים של מרכזי התפרצות געשית, בעיקר לפי מציאות סלעים פירוקלסטים בסביבתם (ראה שליב, 1991). בשולי רמות מנשה מספר גבעות עגולות הבנויות מבזלת (איור 1), שזוהו כהרי געש על ידי אבנימלך (1948): גבעת יאשיהו, ממערב למגידו (תחנה 3); גבעה עגולה הבנויה מבזלת בלויה בקצה המערבי של מדרך עוז; גבעת אשמר, בה מחשוף של סלע פירוקלסטי בלוי; גבעה נ.ג. 221 ; גבעת קיפוד, כ-1.5 ק"מ ממערב למשמר העמק. שורת הגבעות נמשכת לאורך קו המקביל לשולי עמק יזרעאל.

גיל הבזלת התחתונה: טווח הגילים הכולל של התצורה בגליל ובעמק יזרעאל כפי שנקבע בשיטת K-Ar הוא מכ-17.5 מ.ש. עד כ-9 מ.ש. (שליב, 1991). טווח הגילים באזור עמק יזרעאל לפי כלל המדידות הוא מכ-16 מ.ש. (בזלת מאזור קיבוץ יזרעאל, בשולי העמק) עד כ-8 מ.ש. (בזלת מאזור שימרון, בצפון העמק). לפי גיל הבזלת בתחתית קידוח גדעון 3 שבאזור היוגב (Sandler et al, 2004) הבזלות החלו להצטבר בתוך העמק לפחות לפני כ-15 מ.ש.

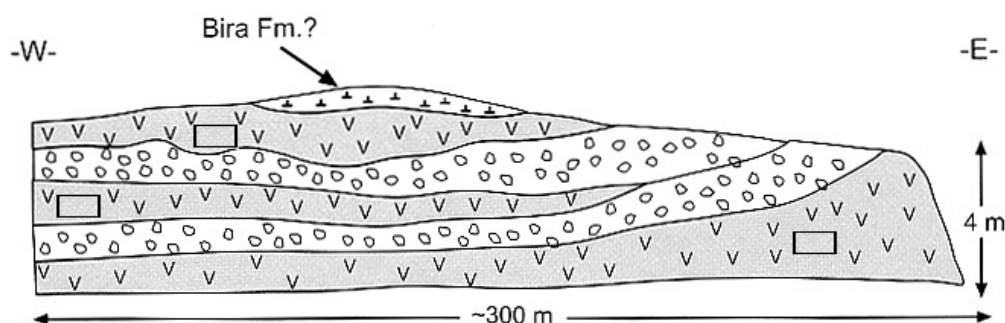
טבלה 1. גילים של בזלת תחתונה מעמק יזרעאל ושוליו (נקבעו במדידות K-Ar)

מקור*	נ.צ.	תאור	מספר מדידות	גיל ממוצע (מיליון שנים)	מקור
1	2330/7248	סלע טרי, גס גביש	1	10.9 ± 0.2	פסגת הר המורה
1	2337/7244	סלע בלוי, גס גביש	1	9.9 ± 0.3	גבעת המורה,
1	2344/7248	סלע טרי, דק גביש	2	15.0 ± 0.9	גבעת המורה
1	2344/7251	דייק NE, סלע טרי, דק גביש	2	13.9 ± 1.2	גבעת המורה
1	2328/7247	דייק NE, סלע טרי, דק גביש	2	14.7 ± 2.0	גבעת המורה
1	2351/7264	סלע טרי מאוד, דק גביש	1	15.5 ± 0.3	חל עגול
3	2179/7198	סלע מעט בלוי, דק גביש	2	8.1 ± 0.6	צומת מגידו
3	2160/7206	בזלת מחרוט געש, טריה	4	9.1 ± 0.3	גבעת יאשיהו
1	21405/72265	בזלת מחרוט געש, טריה	3	12.0 ± 1.7	גבעת אשמר
1	21185/72425	3 חלוקים מברקציה של דייק	3	11.2 ± 1.2	משמר העמק
1	21405/72265	בזלת מחרוט געש, טריה	2	9.7 ± 3.5	גבעת קיפוד
1	2213/7244	בזלת במחצבה, בלויה, גסות גביש	3	9.7 ± 2.0	חרי' לד, מזרח להיוגב
3	2185/7243	בזלת טריה	4	8.2 ± 0.2	מחצבה ממערב להיוגב
2	22274/72444	גלעין מתחתית הבזלת, עומק 190 מ'	4	14.9 ± 0.3	קדוח גדעון 3
2	22274/72444	מטחן, בזלת טריה, עומק 180 מ'	3	15.1 ± 0.1	קדוח גדעון 3
1	22466/72423	מטחן מגג הבזלת, עומק 480 מ'	2	11.5 ± 4.7	קדוח גדעון 5
1	22466/72423	מטחן מבסיס הקידוח, 1180 מ'	2	13.1 ± 0.3	קדוח גדעון 5
1	22413/72244	גלעין, בזלת טריה, דקת גביש	2	11.2 ± 1.2	קדוח גדעון 1
1	2204/7342	בזלת על עבדת, בלויה מאוד, גסה	2	9.3 ± 0.3	שימרון
1	2228/7303	בזלת מתחת לקג"ל בלויה	3	11.4 ± 1.1	מגדל העמק (דרום)
2	22260/72975	בזלת מתחת לקג"ל גירי	3	11.3 ± 0.1	מגדל העמק (דרום)
2	22260/72975	בזלת בין שכבות קג"ל גירי	3	11.8 ± 1.1	מגדל העמק (דרום)
2	22260/72975	בזלת מעל גג הקג"לים הגיריים	2	11.8 ± 0.2	מגדל העמק (דרום)
2	22410/73010	בזלת מתחת לקג"ל הגירי	3	14.9 ± 0.3	גניגר
2	22410/73010	בזלת מעל לקג"ל הגירי	3	11.7 ± 0.4	גניגר

* (1) שליב, 1991; (2) Sandler et al, 2004; (3) הרלבן ואיתמר (בהכנה)



איור 4. מפת נתוני עובי של הבזלת התחתונה בעמק יזרעאל והסביבה (נעל פי שליב, 1991).



איור 5. חתך סכמתי במחשף החצוב של מגדל העמק (דרום) בו מתאצבעות שכבות קונגלומרט עם זרמי בזלת. המלבנים מציינים מיקום של מדגמי בזלת שתוארכו בשיטת K-Ar (נעל פי Sandler et al., 2004).

קונגלומרט אום סבונה בעמק יזרעאל

תצורת אום-סבונה (קונגלומרט אום סבונה; שולמן, 1962) היא תצורה קלסטית בעיקרה המכילה במקומות מסוימים גם אופקים שנראים פירוקליסטיים. התצורה הורבדה לאחר שלב של יצירת תבליט חריף, כתוצאה מהעתקה אנכית אינטנסיבית והתחתרות נחלים בשולי עמק הירדן ועמק יזרעאל (שולמן, 1962). העובי המרבי של התצורה כ-200 מ' בנחל צבון (אום סבונה) שבשולי עמק הירדן, שם נמדד החתך הטיפוסי (שולמן, 1962). הגיל על פי שליב (1991) מאוחר ל-10 מ.ש. וקדום ל-7 מ.ש. וככל הנראה בתחום של 8.5 עד 7 מ.ש.

הרכב התצורה משתנה בין קונגלומרט יבשתי עם חלוקים בזליים לסלעים קלסטיים דקי גרגר (נאבני חול וולקנוגניו), ופפריטים, שהם סלעים חואריים אגמיים המכילים פרגמנטים של בזלת, טוף וסקוריה (נאהרון, 1997, וראה סיור מספר 5 בחוברת זו). התצורה מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי הבזלת התחתונה ועוברת באופן הדרגתי לתצורת בירה שמעליה.

גם בעמק יזרעאל ניתן לזהות מחשופים של קונגלומרט העונים על שני הקריטריונים המאפיינים את תצורת אום סבונה על פי שולמן (1962): 1. הם מונחים מעל מישור ארוזיבי בגב הבזלת התחתונה ו-2. הם עשויים חלוקים ומרכיבים דקים וולקניים. המחשוף המייצג נמצא בחרבת עדשים ותואר על ידי Dicker (1969). מחשופים דומים נמצאים בצומת מגידו (תחנה 2) וב"פרי העמק" (תחנה 6). קונגלומרטים אלה כונו "הקונגלומרטים הכהים" (Sandler et al, 2004) כדי להבדילם מהקונגלומרטים הבהירים בני גילה של הבזלת התחתונה.

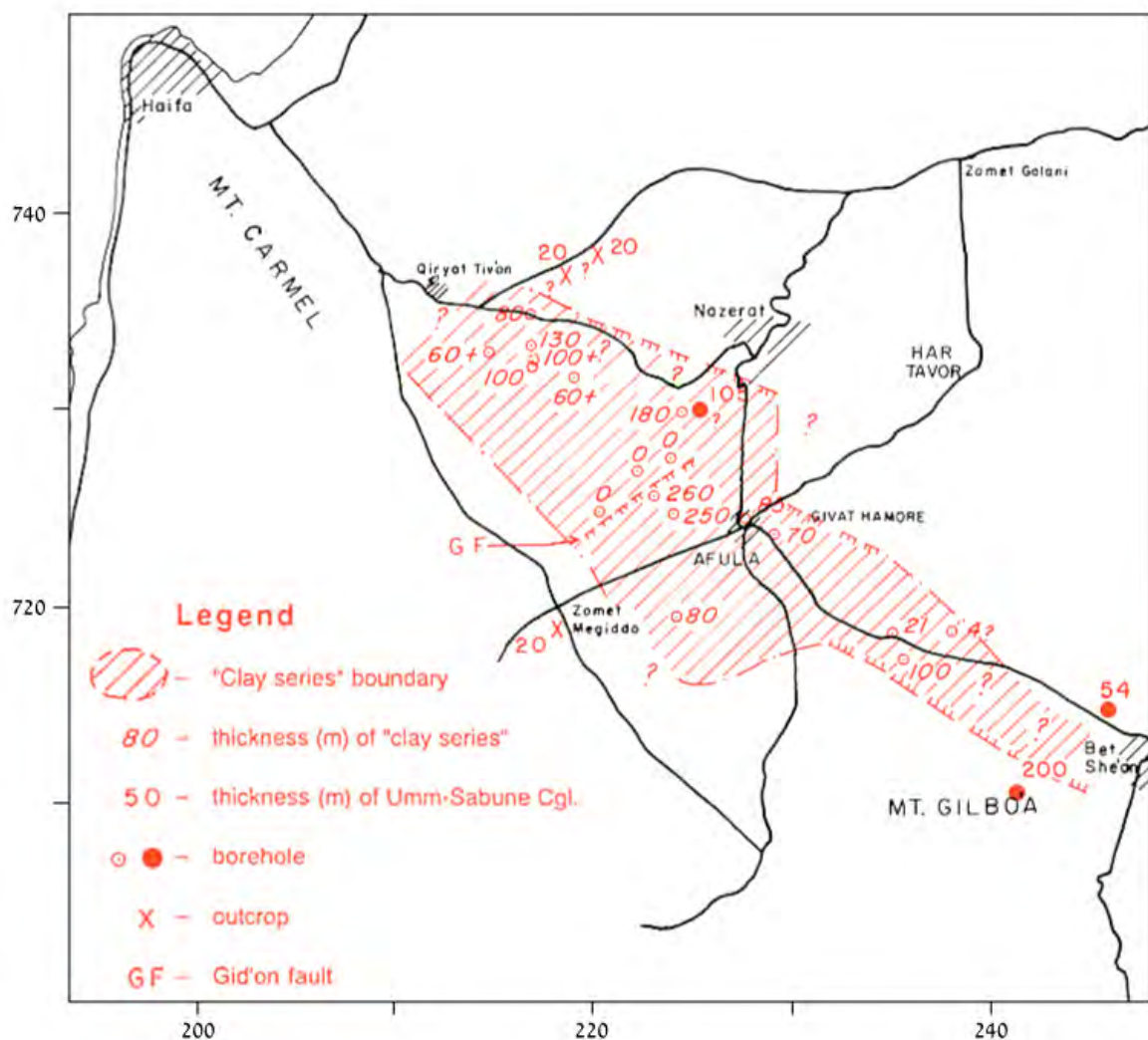
המגע של ארוזיה בין הבזלת לבין בסיס הקונגלומרט והשינוי בהרכב החלוקים, שכמעט כולם בזליים, לעומת הרכב החלוקים בקונגלומרטים הבהירים, מלמד על שינוי ניכר במערכת הניקוז באזור בתקופה שבין הצטברות הבזלת התחתונה לבין הצטברות "הקונגלומרטים הכהים" כתוצאה מהעתקה והתרוממות גושי בזלת תחתונה בתוך העמק, בדומה למתואר מהגליל התחתון.

סדרת החרסית

השם "סדרת החרסית" ניתן על ידי פיקרד (Picard, 1936) לרצף עבה של חרסיות אדומות-חומות שנמצאו בקידוחים רבים בעמק יזרעאל. בחלק מהקידוחים מכסה סדרת החרסית שכבה של חלוקי בזלת ובאחרים בבסיסה היא מעורבת בחלוקים. פלאוסולים, אשר היו מקור החומר לחרסיות העבות שהצטברו בעמק, נמצאו באתרים בשולי העמק, במפעלי העמק (תחנה 6, להלן) ובאזור אלונים, שם החרסית מונחת על בזלת. החרסית, במחשופים ובקידוחים, מכוסה בסלעים קירטוניים של תצורת בירה. עובי היחידה משתנה ממטרים ספורים בשולי העמק עד למעלה ממאה מ' במרכזו, ברצועה הנמשכת מאזור בית שערם במערב עד מזרחם לחל יוסף במזרח. עוביה המרבי, 260 מ', נמצא בקידוח ממערב לעפולה, ממזרח להעתק גדעון (להלן).

יחידה סטרטיגרפית זו עשויה בעיקר חרסית חומה וחרסית חווארית אדומה-חומה, עם שכבות ביניים המכילות תצבירי גיר וחלוקי גיר וצור. במעלה החתך של היחידה גדל המרכיב הקרבונטי והצבע בהיר יותר. מינרל החרסית השולט ביחידה הוא הסמקטיט. בחתך עבה בקידוח באזור עפולה נמצאה מגמה של עליה בתכולת הפליגורסקיט עם העליה בחתך, מגמה שנמשכת בתצורת בירה.

גיל סדרת החרסית נקבע לפי גיל הבזלת שמתחת לה והגיל שנקבע לתצורת בירה המונחת מעליה. בסיסה צעיר מ-10 מ.ש. והגג קדום מ-7 מ.ש., ככל הנראה. אל מרכז עמק יזרעאל שהלך ושקע באותה תקופה, נסחפו כמויות גדולות של חרסית שמקורה ככל הנראה, באופקים של קרקע פוסילית שכיסו רבדים שונים בתוך חתך הבזלות והקונגלומרטים בשולי העמק. עם התמתנות הנוף הייתה הרבדה של קלסטים יותר ויותר דקים. נראה שהחרסיות הצטברו במרכז העמק במקביל להצטברות חלקה העליון של תצורת אום סבונה.



איור 6. מפת נתוני עובי של קונגלומרט אום סבונה ושל "סדרת החרסית" בעמק יזרעאל והסביבה (על פי שליב, 1991).

תצורת בירה

תצורת בירה (חומר בירה אצל שולמן, 1962) הוגדרה בקרבת עמק הירדן, שם היא בעיקרה חומרית, אך נפוצים בה שינויים פציאליים בין חומר, פצלים חרסתיים, גיר, דולומיט, קרטון, חול גירי, קונגלומרט וסלעים אוופוריטיים (שולמן, 1962; שליב, 1991). מאספי הפאונה ביחידות הקרבונטיות מעידים על סביבת השקעה אגמית של מים מתוקים עד ברקיים עם תקופות של שינויים קיצוניים במליחות המים מברקיים להיפרסליניים (Rosenfeld et al., 1981). לקראת סוף הרבדת התצורה חדרו מי הים התיכון דרך עמק יזרעאל עד שולי בקעת הירדן והעדות לכך היא שכבת גיר צדפות ("לומשל") הנמצאת קרוב לגג התצורה. עובי התצורה בשולי עמק הירדן משתנה בין 0 מ' למעל 350 מ' וגילה, שנקבע לפי תארוך זרמי בזלת מתחת לה, ובתוכה (להלן) הוא בין 7 מ.ש. ל-5.3 מ.ש. (שליב, 1991). המעבר בין תצורת אום סבונה לבסיס תצורת בירה הדרגתי. במקומות בהם חסרה תצורת אום סבונה, התצורה מונחת באי התאמה זוויתית ואירוזיבית על הבזלת התחתונה או על יחידות קדומות יותר. גג תצורת בירה מכוסה באי התאמה אירוזיבית או זוויתית על ידי תצורות גשר ובזלת הכיסוי.

קידוחים במרכז עמק יזרעאל חדרו חתך של חומרים ירקרקים, בעובי של 70 עד 130 מ', המשוך לתצורת בירה. הרכב הסלעים הינו קלציטי בעיקרו, עם דולומיט, חרסיות ומעט גבס וקורץ. בין מינרלי החרסית שולט הסמקטיט. בקידוחים במערב העמק נמצאה בעמדה הסטרטיגרפית של התצורה אבן חול גירית עם גרגרי קורץ וסילט קורצי בחלק העליון. עובי היחידה שם 15 עד 30 מ' (שליב, 1991). פרטים בודדים של פורמיניפירה ואוסטרקודה שנמצאו בחומרים בעמק ובשוליו מעידים על השקעה בסביבה ברקית רדודה (וישקין, 1976; שליב, 1991).

במחשופים באזור מגדל העמק ובקידוחים, מאלונים בצפון-מערב ועד עמק חרוד במזרח, נמצא מעל הבזלת התחתונה חתך הכולל גירים, קירטונים למינריים וחומרים. הסלעים מופו כ-"סדרת הגיר והקרטון" (Picard, 1936) ו"סדימנטים נאוגניים" (גרינברג, 1962; Dicker, 1969). פאונה שנמצאה בסלעים אלה מגדירה את גילם כנאוגן, או נאוגן עד רצנט.

המורפולוגיה של האזור בזמן הרבדת תצורת בירה היתה שטוחה ומרכז העמק היה מכוסה באגמים עמוקים יחסית. המעבר מסדרת החרסית האדומה, לסדימנטים האפורים-ירקרקים של תצורת בירה, מציין מעבר מסביבה יבשתית לסביבה מימית, אולי עם תנאים מחוזרים בקרקעית. במשך התקופה של הרבדת חלקה העליון של תצורת בירה היה לאגמים הפנימיים קשר לים בתקופות קצרות.

זרמים של בזלת המופיעים בבסיס ובתוך החתך של תצורת בירה באזור כוכב הירדן ובאתרים נוספים בשולי עמק הירדן כונו על ידי שולמן (1962) "הבזלת התיכונה". הבזלת אוליבינית עם פנוקריסטים של מחטי

פליגוקלז ומעט גבישי פירוקסן. במחשופים ובקידוחים באזור עמק יזרעאל לא נמצאו זרמי בזלת בתוך תצורת בירה.

עדויות לחדירת הים לעמק במיוקן העליון

שרידי גיר צדפות ימי, שנמצאו בשולי עמק יזרעאל המזרחי, למרגלות התבור, בשולי עמק חרוד ובעמק הירדן, מהווים עדות לחדירה ימית שהוזכרה בעבודות רבות. הגיר הימי שנמצא במחלול יבנאל ובנחל תבור זוהה כאקוויולנט לגבס (שבחלק העליון של תצורת בירה) במנחמיה שבעמק הירדן (Blake, 1935). מאספי הפאונה שהוגדרו ממקומות שונים מגדירים גיל נאוגן או נאוגן עד הווה.

המעבר ממגהפאונה ימית מובהקת במערב לפאונה של סביבה אסטוארית (נסופרהלינית עד ברקית) במזרח, מזהה בשרידי הגיר שנמצאו לאורך רצועה הנמשכת מרמת סירין בצפון לעבר מזרח רמות יששכר בדרום. בדוגמאות מטחן של קידוחים שחדרו לחווארים של תצורת בירה במרכז עמק יזרעאל זוהו דיאטומאות ימיות נאוגניות על ידי א. ארליך (שליב, 1991). העדר החרסית פליגורסקיט בדוגמאות מטחן אלה מהווה עדות מסייעת לקביעה שהים חדר דרך עמק יזרעאל מזרחה. בהתבסס על קביעת הגיל של תצורת בירה טען שליב (1991) שהחדירה הימית בתקופת הרבדת תצורת בירה התרחשה בתקופה של פני ים גבוהים במיוקן העליון, לפני "ההתייבשות המסיניאנית".

תצורת גשר

התצורה, שהוגדרה בשולי עמק הירדן (שולמן, 1962), מונחת באי התאמה על הבזלת התחתונה או על תצורות אום סבונה ובירה, ומכוסה באי התאמה על ידי בזלת הכיסוי. התצורה מורכבת בעיקר מגירים וקרטונים שהצטברו באגמים של מים מתוקים, לאחר נסיגת הים. גיל התצורה בגליל התחתון, שנקבע לפי גיל בזלות המתאצבעות עם התצורה ובזלת המונחת עליה (בזלת הכיסוי, להלן), הוא בין 5.3 מ.ש. ל-4.8 מ.ש. (שליב, 1991), כלומר פליוקן תחתון.

בעמק יזרעאל ובשוליו אין מחשופים של תצורת גשר. התצורה זוהתה בקידוחים בשוליים הצפוניים של עמק חרוד עד עפולה במערב והיא כוללת שם את פרט הגיר האואוליטי, שהוגדר על ידי שולמן (1962) בעמק הירדן ועובייה כ-50 מ'. סדימנטים אלה הם עדות לקיומו של שקע עמוק שנמשך מעמק הירדן לאורך עמק חרוד מערבה, בפליוקן התחתון.

בזלת הכיסוי (שולמן, 1962)

יחידה בזלתית המכסה את הרמות הנטויות בגליל התחתון ומונחת באי התאמה על היחידות הקדומות לה. בזלת הכיסוי בנויה מאלקלי אוליבין בזלת (Oppenheim, 1962) וגילה בתחום שבין 5.3 ו-3.5 מ.ש. (Heimman et al., 1996).

במזרח עמק יזרעאל נחשפים סלעים של בזלת הכיסוי (המזוהים לפי תארוך איזוטופי) בין גבעת המורה לנחל נורית. במערב עמק חרוד עובי התצורה בקידוחים מגיע עד 50 מ'. בקידוחים באזור עפולה נמצאה בזלת בעובי כ-10 מ' מעל תצורת בירה. כיוון שהבזלת לא תוארכה, לא ברור אם יש לשייכה לבזלת הכיסוי או לבזלת התיכונה.

בשולי עמק יזרעאל המערבי, במגדל העמק ובאזור התעשייה הצפוני של מגדל העמק (תחנה 8) מצויים מחשופים קטנים של בזלת הכיסוי מעל הגירים הנאוגניים (גרינברג, 1962). עד כה לא תוארכו מחשופים אלה איזוטופית. בתיארוך K-Ar ראשוני, שנערך לקראת סיום זה, נקבע גיל של 4.6 מ.ש.

המבנה הגיאולוגי והפעילות הטקטונית

עמק יזרעאל הוא השקע הטקטוני הגדול ביותר בישראל, מחוץ לבקע ים המלח, הפעיל סייסמית בהווה (Hofstetter et al., 1996). העמק מפריד בין הפרובינציה הטקטונית של קמרי הכרמל ואום-אל פחם מדרום-מערב, לבין הפרובינציה של מבני ההורסטים והגרביים של הגליל התחתון שמצפון לו.

השערה בדבר קיומו של קו חולשה קדום בקרום באזור הכרמל הועלתה במספר עבודות נראה אצל שליב, 1991). אולם מיקומו וכיוונו אינו חופף את קו הכרמל-גלבוע. האפשרות שבאזור עמק יזרעאל היה בתחילת המזוזואיקון בקע יבשתי קדום, בין הכרמל לבין הגליל התחתון, צוינה בעבודות שונות נלמשל Garfunkel and Derin, 1984). השקע של עמק יזרעאל הנוכחי התפתח כתוצאה מהעתקה במשטר מאמצים של מחיתה בכיוון NE-SW, החל מהמיוקן התיכון (שליב, 1991).

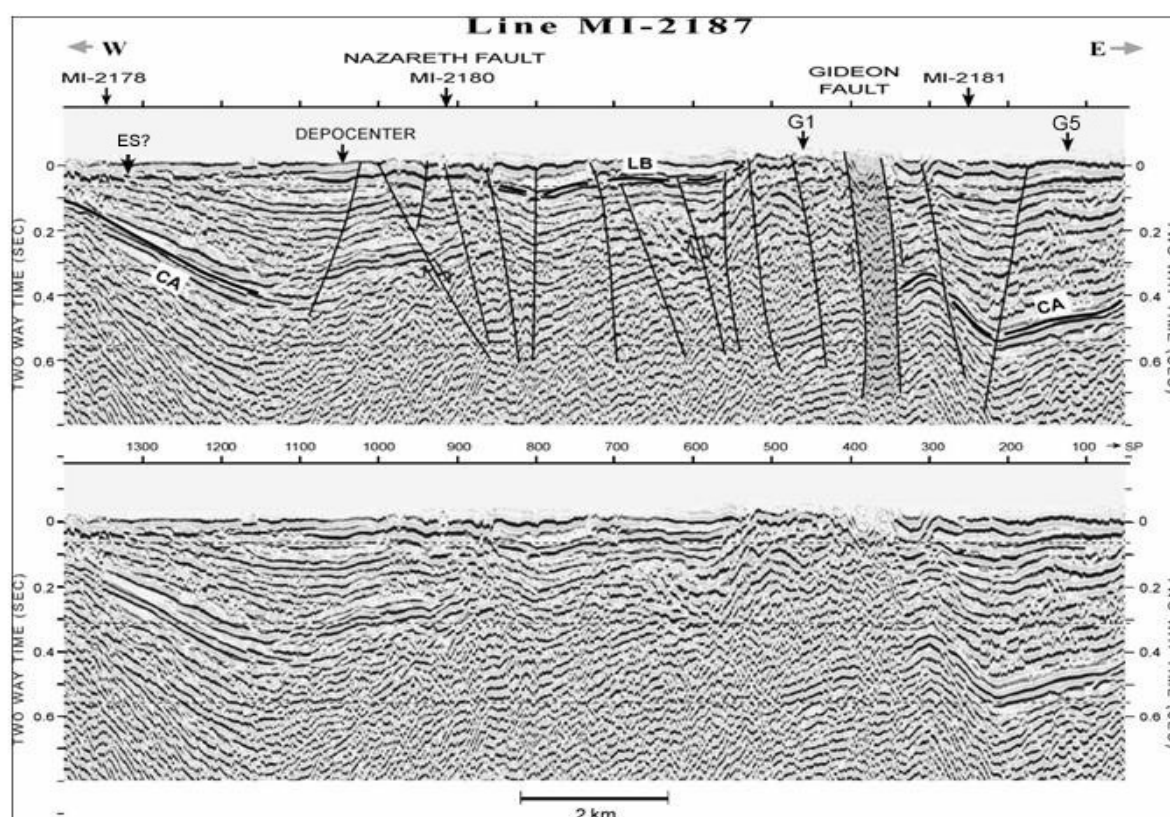
גבולו המערבי של העמק, בקטע שמיקנעם וצפונה, הוא העתק הכרמל-יגור, שלאורכו מוצבים קרטונים של חבורת עבדת בשולי העמק מול סלעי חבורת יהודה בכרמל. מיקנעם ודרומה, עד ג'נין, עובר הגבול הדרום-מערבי של העמק למרגלות הגבעות של רמת מנשה וגוש הרי אום-אל-פחם. לאורך גבול זה הבזלת התחתונה מכסה סלעים של חבורת עבדת החשופים ממערב לגבול העמק. לגבי מיקומו של העתק ראשי, שהוא המשכו של העתק הכרמל, בגבול זה קיימים חילוקי דעות. במספר עבודות צוין העתק משוער לאורך ובמקביל לקו הגבול בין הגבעות לעמק (נראה למשל Rotstein et al., 2004). שליב (1991) הציג את המשכו של העתק הכרמל בקו הנמשך בתוך העמק, לעבר העתק הגלבוע במזרח נראה גם בדברי ההסבר לסיור מספר 4 בחוברת זו).

הגבול הצפוני של העמק, המפרידו מהגליל התחתון, לא נמשך לאורך קו רציף היכול להצביע על קו העתקה ראשי אחד. בחלק המזרחי של עמק יזרעאל הנמשך לעמק כסולות במזרח בולט העתק נצרת המציב את מילוי העמק מול סלעי חבורת יהודה בהרי נצרת. העתק זה נמשך לדרום-מערב לתוך העמק (Rotstein et al., 2004). הגבול בחלקו הצפוני-מערבי של העמק אינו חד. שם נוחת המסלע האיזוקני הנחשף בקער של שפרעם דרומה, מתחת לכיסוי של היחידות הממלאות את העמק. הנחיתה מלווה, ככל הנראה, העתקים

נורמליים בכיוון דרום-מזרח צפון-מערב, כגון העתק נהלל והעתק גבת, אשר זווהו בקווים סייסמיים (איור 1; Rotstein et al., 2004).

בתוך העמק נחשפת הבולת התחתונה במספר מקומות, אך במרבית השטח היא מכוסה בסדימנטים מגיל מיוקן עליון עד הווה. מבני הקימוט הפרה-נאוגניים של "הקשת הסורית", המוכרים מדרום לעמק קמר אום-אל-פחם וקער רמות מנשה, נמשכים בתוך העמק, עם הסטה אופקית שמאלית של 3-4 ק"מ, מתחת לכיסוי הנאוגני, וזוהתה שם מנתוני הקידוחים (Arad, 1965; שליב, 1991; איור 3).

עמק יזרעאל עצמו שבור לבלוקים נטויים המופרדים ביניהם על ידי מערכות העתקים שכיוון מערב-צפון-מערב וצפון-צפון-מזרח (שליב, 1991). מפענחו חתכים סייסמיים החוצים את העמק בכיוונים שונים התקבלה תמונה של מבנה מורכב ביותר, המחולק לבלוקים רבים, חלקם נטויים, על ידי העתקים משתי המערכות העיקריות (Rotstein et al., 2004).



איור 7. חתך סייסמי מצפון-מערב לדרום-מזרח במרכז עמק יזרעאל לאורך המסילה של "רכבת העמק" (נקו מספר MI-2187 מתוך Rotstein et al., 2004). CA - הרפלקטור הסייסמי על אי ההתאמה בין הסלעים הקרובונוטיים לבין הבולת התחתונה. LB - הרפלקטור הסייסמי על גג הבולת התחתונה. G1 - קידוח גדעון 1; G5 - קידוח גדעון 5 מושלך על קו החתך (מיקום הקידוחים והחתך הסייסמי, ראה באיור 1). שים לב: לבלוק הנטוי מערבה, המוגבל במזרחו בהעתק גדעון; להופעה של "onlaps" של שכבות הבולת על הקרובונוטים בחלק המערבי של החתך; לקו הארוזיה בגג הבולת התחתונה (ES?).

אופי ההעתקה וזמן הפעילות

במספר אתרים לאורך העתקי הכרמל והגלבוע נחשפים מישורי העתקה. בכמה מקומות נטיית המישורים היא 50° - 60° , נטייה אופינית להעתקה נורמלית, אך באתרים ביקנעם ובנחל נורית נמצאו מישורי העתק אנכיים, עם סימני החלקה תת אופקיים. בחתכים סייסמיים החוצים את העמק בכיוונים שונים, זהו העתקים נורמליים והעתקי תזוזה אופקית (Rotstein et al., 2004).

השינויי החריפים בעובי הבזלת התחתונה לרוחב העמק (איור 4) והצטברותם של אופקי חלוקים וחרסית בין שכבות הבזלת במרכז העמק מעידים על השתפלות של מאות מטרים, במשך תקופת הצטברות הבזלת שהחלה במיוקן התיכון. השתפלות זו מיוחסת להעתקה נורמלית לאורך העתק הכרמל-גלבוע והעתקים נוספים בעלי כיוון דומה. השינויים החריפים בעובי הבזלת התחתונה משני צידיו של העתק גדעון, החוצה את העמק בכיוון NESW (נחתך סייסמי איור 7) ויחסי השדה של דייקים של בזלת תחתונה והעתק סנדלה במערב הגלבוע, שכיוונו דומה, מלמדים שגם ההעתקים הנורמליים בכיוון NESW פעלו באותה תקופה (שליב, 1991). פעילות בו זמנית על שתי מערכות העתקה ושתי מערכות דייקים בעלות כיוונים אלה הובחנה בגליל התחתון המזרחי (שולמן, 1962) ובגבעת המורה (Dicker, 1969). התפרצות הבזלת התחתונה לאורך קוויים המקבילים להעתקים הראשיים, כמו שורת הרי הגעש לאורך גבול העמק עם רמות מנשה ושורת המחדרים בגבעת המורה, מחזקת את ההנחה שפעילות ההעתקים היתה בו זמנית עם הפעילות הוולקנית.

השינויים הגדולים בעובי סדרת החרסית לרוחב העמק (איור 6) והשינויים בעובי תצורת בירה והופעתה בפציאס של מים עמוקים יותר במרכז העמק מלמדים על המשך ההשתפלות של אזור זה גם במיוקן המאוחר וסביר שהיא היתה כתוצאה מהמשך ההעתקה הנורמלית. הצטברות סדימנטים צעירים יותר בעובי של עד כ- 100 מ' במרכז העמק מלמדת על השתפלות איטית יותר הנמשכת עד ההווה.

הפרש של 150 - 250 מ' בעובי סדרת החרסית משני צידיו של ההעתק (לפי חתכי קידוחים) מעיד על המשך השקיעה של "השקע של עפולה", שממזרח להעתק גדעון בזמן הצטברות החרסית. אמנם תצורת בירה שומרת על עוביה משני צידי ההעתק, אולם השתמרותו של רכס תל עדשים - מזרע היוגב, שלאורכו נחשפת בזלת תחתונה והוא בולט מורפולוגית במרכז העמק הממשיך להשתפל ולצבור סדימנטים, מהווה עדות להמשך ההעתקה על העתק גדעון כנראה עד ההווה.

שינויים בקצב ההשתפלות של העמק

בנאוגן ההשתפלות המהירה ביותר בעמק היתה במיוקן התיכון. בתקופת הצטברות הבזלת התחתונה, בין 15 ל-8 מ.ש. (במשך כ-7 מ.ש.), הצטבר חתך בעובי גדול מ-1000 מ' בשקע של עפולה שבמרכז העמק, עדות להשתפלות בקצב העולה על 14 ס"מ באלף שנה באותה תקופה. קצב ההשתפלות המרבי שחושב לתקופת הצטברות החרסית בשקע של עפולה, היה גדול מ-7.5 ס"מ לאלף שנה. קצב ההשתפלות שחושב לתקופה מהפליוקן עד היום הוא 2 - 2.5 ס"מ לאלף שנה (שליב, 1991).

תחנה 1 – פסגת גבעת המורה

תצפית מגובה 517 מ' על האלמנטים הראשיים במבני עמק יזרעאל וסביבותיו: הכרמל והעתק הכרמל, רכס היוגב, השקע של עפולה וקמר אום-אל-פחם. בתחנה יינתן מבוא כללי לסיור ויוצגו השאלות העומדות בבסיס לימוד ההיסטוריה הגיאולוגית של התפתחות העמק ומטרת הסיור הנוכחי.

פסגת גבעת המורה בנויה ממיקרו-גברו בעל הופעה גסה גרגר המשווין לסדן של הבזלת התחתונה (Oppenheim, 1962). גיל הבזלת כאן כ- 11 מ' ש'. יש לציין שבעבר מופו מספר מחשופים של בזלת הכיסוי בגבעת המורה, אולם מתארוך איזוטופי הסתבר שכל הבזלת בגבעת המורה היא בזלת תחתונה (שליב, 1991). יצוינו קווי הדיוק, בכיוונים WNW-ESE ו-SW-NE והאינטרוסיות בגבעת המורה, הנצפים מהתחנה, ויפתח דיון על גיל ההתרוממות של גבעת המורה.

תחנה 2 – צומת מגידו נ.צ. 21820/71960

מעל גג הבזלת התחתונה, שגילו כאן 8 מ.ש., מונח קונגלומרט בן שני חלקים, כל אחד בעובי מספר מטרים. החלק התחתון מכיל חלוקי בזלת וגרגרי בזלת דקים עם הופעה אופיינית לקונגלומרט אום סבונה. החלק העליון מכיל תערובת של חלוקי בזלת וחלוקי גיר. בין שני החלקים מפריד פליאוסול עם אופק קאלצי שהצטבר בין החלקים. מחשוף זה שייך בעבר לקונגלומרט גבעת עוז, אך הוא שונה לחלוטין מהחתך הטיפוסי ויש לשייכו לקונגלומרט אום סבונה.

תחנה 3 – גבעת יאשיהו נ.צ. 2161/7206

גבעה זו אינה אלא מרכז התפרצות וולקנית, אחת מתוך שורה הנמשכת לאורך שולי רמות מנשה. מחצבת בזלת במקום חושפת בזלת עם קווי זרימה אנכיים של צואר הזנה (איור 8). חלקו המרכזי של צואר ההזנה כבר נכרה. הסידוק בבזלת הקרובה לפני השטח אופקי כתוצאה מהרפיית לחץ. מדגם אחד של בזלת תוארך (K-Ar) לאחרונה וגילו 9 מ.ש.

תחנה 4 – צומת השומרים (קרית טבעון) נ.צ. 21285/73505

הרחבת הכביש חשפה מחדש קונגלומרט שתואר בעבר בעבודתו של ניב (1954). הקונגלומרט מונח על גיר של איאוקן עליון ומורכב מחלוקים מעוגלים למחצה העשויים ברובם גיר (איאוקני וטורוני) ומיעוטם אחרים. אחד החלוקים זוהה כגיר שונית מיוקני (צקלג) ולכן הוא מגדיר את הגיל התחתון של הקונגלומרט (Sandler et al, 2004). הקונגלומרט בנוי שלושה מחזורים שבכל אחד מהם שכבת חלוקים ומעליה גיר קלסטי חולי, וכנראה גם גיר אגמי כימי, שעברו פדוגנזה קלה. מחשוף זה מייצג מחשופים נרחבים של קונגלומרטים דומים המשתרעים בצפון העמק, ומצפון לו, כמו באזור גבעת חציר, ולהם הרכב חלוקים דומה.



איור 8. צילום של המחצבה בגבעת יאשיהו (תחנה 3) החושפת צואר הזנה וולקני עם בזלת אנכית (צילום: אריאל גאיי).



איור 10. צילום של אזור השבר (תחנה 7) שבסביבתו נמצאת תופעת הטריפולי.



איור 12. צילום של שכבת קונגלומרט בין זרמי בזלת תחמונה בגיגור (תחנה 9).

תחנה 5 – שריד נ.צ. 22160/73015

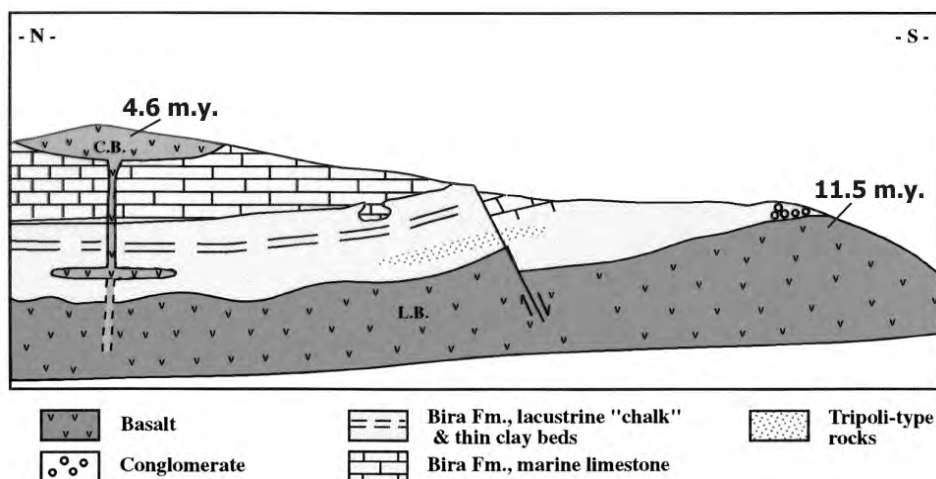
חתך כביש מלאכותי החושף את החלק התחתון של תצורת בירה. חלק זה עשוי גיר אגמי משוכב, לבנבן עד ירקרק בשל תכולת חרסיות משתנה, וכן שכבות דקות (נסטימטרים אחדים) של חרסית ירוקה-אפורה. שכבות החרסית מפותלות וקרועות עדות לפעילות טקטונית (וולקנית?) מתמשכת בתקופת הרבדת התצורה.

תחנה 6 – מפעלי העמק (פרי העמק) נ.צ. 22235/73015

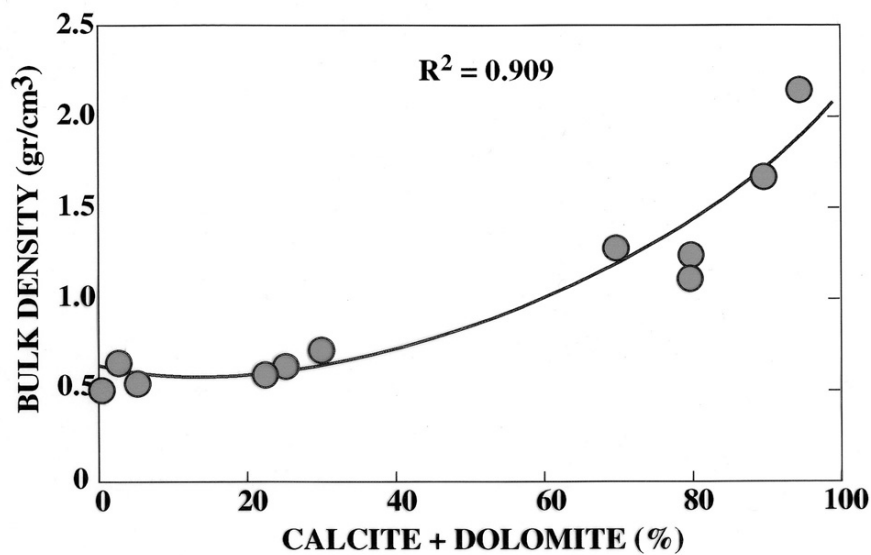
תצפית על קונגלומרט בעובי של מספר מטרים המונח על גבי סלעים של הבולת התחתונה ומכוסה בסדרה של פלאוסולים, שמעליהם מונחים סדימנטים של תצורת בירה. הקונגלומרט מורכב מחלקי בזלת וקרבוניטים, בגודל של כ-10 ס"מ. הרכב הקונגלומרט דומה לזה של החלק העליון של הקונגלומרט בצומת מגידו והוא משויך לקונגלומרטים הכהים, המקבילים לקונגלומרט אום סבונה. המחשוף הנדיר של הפליאוסולים האדומים משמר, ככל הנראה, את חומר המקור ל"סדרת החרסית" שהצטברה בתוך העמק.

תחנה 7 – הטריפולי נ.צ. 22265/73050

סמוך לשבר נורמלי (איורים 9 ו-10) הוחלף הסלע המקורי של תצורת בירה, באופן מלא או חלקי, מקרבונטים למיקרו-קוורץ, אופאל, וחרסיות. הגודל השכיח של הגבישים הוא 5 מיקרון. הסלע המוחלף נקבובי מאוד ובעל משקל נפחי נמוך מ-1 גר"/סמ"ק (איור 11). ההחלפה היא תוצר פעילות הידרותרמלית של תמיסות סיליקה-אלומינה הנלוות לפעילות הוולקנית, ככל הנראה של בזלת הכיסוי המונחת מעל נ Sandler, 1997). מחשוף נרחב יותר היה בשולי הכביש מעל התחנה אך הוא מוסתר היום על ידי קיר מגן. המשך התופעה נצפה בעת עבודות תשתית בגבעה מערבית לתחנה זו. סלע הבנוי מיקרו-קוורץ ממוצא כימי מכונה טריפולי ולו פוטנציאל כלכלי. ישנן מדינות בהן מכנים בשם זה סלע דומה ממוצא ביוגני, דוגמת הפורצלניט. זהו המקום היחיד בו תואר טריפולי בישראל, אך ככל הנראה מצויות תופעות דומות באסוציאציה עם סלעים וולקניים בחרמון (אריה שמרון, דברים בע"פ) ובמקומות נוספים.



איור 9. חתך גיאולוגי סכמתי באזור מגדל העמק נעל פי Sandler et al., 2004 בעקבות גרינברג (1962) ועליו סימון מיקום תופעת הטריפולי וגילי הבולת התחתונה והעליונה.



איור 11. היחס בין המשקל הנפחי לבין ההרכב המינרלוגי במדגמים באזור השבר (תחנה 7); למדגמי טריפולי העשויים סיליקה ואלומינה בלבד משקל נפחי נמוך במיוחד, והוא עולה ככל שעולה תכולת הקרבונטים.

תחנה 8 – מפעלי נילית נ.צ. 2232/7322

ממערב לעפולה קיימים שני מחשופים קטנים בלבד של בזלת הכיסוי: בישוב מגדל העמק, ממנו נותרו בולדרים בלבד ובאזור התעשייה הצפוני. נבקר בקיר חצוב של בזלת גסט גביש באזור התעשייה הצפוני של מגדל העמק. לקראת סיוור זה נלקחו שני מדגמים ממחשוף סמוך לקביעת גיל. הגיל של אחד המדגמים הוא 4.6 מ.ש., גיל איזוטופי יחיד עד כה שנקבע לבזלת הכיסוי במערב עמק יזרעאל.

תחנה 9 – גניגר נ.צ. 2241/7301

בין זרמים של הבזלת התחתונה מונחת שכבה סדימנטרית הבנויה בעיקר מקונגלומרט של חלוקי גיר ומגיר אגמי דק שעבר פדוגנזה (איור 12). בולדרים גדולים של בזלת בבסיס היחידה הם ככל הנראה גושים שאריתיים של בזלת בלוייה. תארוך איזוטופי (K-Ar) של מדגמי בזלת מתחת ומעל לשכבה הסדימנטרית קבע לבזלות את הגילים 14.9 ו- 11.8 מ.ש., בהתאמה. מערבית למחשוף זה, למרגלות מגדל העמק, נחשפו חילופים של שכבות קונגלומרט אחדות עם זרמי בזלת (Sandler et al., 2004). קונגלומרטים אלה זהים למחשופים הנרחבים והעבים של קונגלומרטים בהירים, מקבילי קונגלומרט בית ניר, שתוארו לעיל ושהורבדו בשולי העמק, אך גם בתוכו, במהלך הפעילות הוולקנית של הבזלת התחתונה.

מקורות

- אבנימלך, מ., 1948. צפונות סלעי ארצנו. ספרית הפועלים, נעורים, 323 עמ'.
אהרון, ל., 1997. מערכת מגמטית רדודה מגיל מיוקן, הלוע הוולקני של נחל תבור. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/13/97, 91 עמ'.
ארד, א., 1955. הגיאולוגיה של הרי אפרים. עבודת מוסמך האוניברסיטה העברית, ירושלים. 34 ע'.
ביידא, א., 1967. חוות דעת על המצב ההידרולוגי של קידוחי גדעון. דו"ח פנימי של הענף למחקר הידרולוגי. תה"ל, חל אביב.
גינבורג, א., 1960. מחקרים גיאופיזיים במישור החוף המרכזי ובעמק המערבי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים. 27 עמ'.
גרינברג, 1962. הגיאולוגיה של כפר החורש-עילוט. עבודת מוסמך, האוניברסיטה העברית, ירושלים. 52 עמ'.
וישקין, י., 1973. המבנה הגיאולוגי והגאוכימיה של המים כבסיס להבנת המשטר ההידרולוגי של מי התהום בעמק יזרעאל. עבודת מוסמך, האוניברסיטה העברית, ירושלים. 33 עמ'.
ניב, ד., 1954. הגיאולוגיה של אזור שפרעם-טבעון. עבודת מוסמך האוניברסיטה העברית, ירושלים. 31 ע'.
שולמן, נ., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 103 ע'.
שליב, ג., 1991. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של האגן הנאוגני בגליל התחתון ובעמקים. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים (1989). דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/11/91, 100 ע'.

- Arad, A., 1965. Geological out-line of the Ramot Menashe Region (North Israel). *Isr. J. Earth Sci.*, 14, 39-69.
- Blake, G.S., 1928. *Geology and water resources of Palestine*, Govt. of Palestine. Pales. Govt. Printingpress, Jerusalem.
- Blake, G.S., 1935. On the occurrence of Marine Miocene in Palestine. *Geol. Mag.* Vol. 72:140-142.
- Buchbinder, B., 1996. Middle and Upper Miocene reefs and carbonate platforms in Israel. In: *Models for carbonate stratigraphy from Miocene reef complexes of Mediterranean regions*. Franseen, E.K., Esteban, M., Ward, W.C., and Rouchy, I.M., eds. *Concepts in sedimentology and paleontology 5*. SEPM, Tulsa, OK, pp. 333-345
- Dicker, T., 1969. Geology of central Yizre'el valley. *Isr. J. Earth Sci.*, 18: 39-69.
- Heimann, A., Steinitz, G., Mor, D., Shaliv, G., 1996. The Cover Basalt Formation, its age and its regional and tectonic setting: Implications from K-Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Isr. J. Earth Sci.*, 45: 55-69.

- Hofstetter, A., van Eck, T., Shapira, A., 1996. Seismic activity along the fault branches of the Dead Sea– Jordan transform: the Carmel–Tirtza fault system. *Tectonophysics* 267, 317–330.
- Garfunkel, Z., Derin, B., 1984. Permian–early Mesozoic tectonism and continental margin formation in Israel and its implication for the history of the Eastern Mediterranean. In: Dixon J. E., Robertson A. H. F. (eds.) *The Geol. Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geol. Soc. Sp. Pub.17, Oxford: 187–201.
- Kafri, U., 2002. Neogene to Early Quaternary drainage systems in the Lower Galilee, Israel and their relationship to young tectonics. *Isr. J. Earth Sci.* 51: 79–102.
- Oppenheim, M.J., 1962. The geology of the southeastern Galilee lava fields. *Bull. Res. Coun. Isr.*, 11G(2), 58–84.
- Picard, L., 1936. Conditions of underground water in the western Emeq. The Hebrew Univ. Jerusalem, Geol. Dep. Bull. 1, 24 p.
- Picard, L., 1943, Structure and Evolution of Palestine with comparative notes on neighbouring countries. The Hebrew Univ. Geological Dept. Bull., 4, 178 pp.
- Rotstein, Y., Shaliv, G., Rybakov, M., 2004. Active tectonics of the Yizre’el Valley, Israel, using high–resolution seismic reflection data. *Tectonophysics* 382: 31 –50.
- Sandler, A., 1997, The occurrence of hydrothermal tripoli-type rocks at Migdal HaHemeq, northern Israel. *Isr. J. Earth Sci.*, 45:201–209.
- Sandler, A., Harlavan, Y., Shaliv, G., 2004. The stratigraphy of Neogene conglomerates in the Yizre’el Valley. *Isr. J. Earth Sci.*, 53: 77–86.
- Shaliv, G., Mimran, Y., Hatzor, Y., 1991. The sedimentary and structural history of the Bet She’an area and its regional implications. *Isr. J. Earth Sci.*, 40:161–179.

הכרת חתכי הטופות והמורפוטקטוניקה לאורך הגבול בין בקעת בית שאן לעמק הירדן

עזרא זילברמן

המכון הגיאולוגי, ירושלים

אלכסיס רוזנבאום

המכון הגיאולוגי, ירושלים

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, ירושלים

מבוא

בקעת בית שאן המשתרעת ממזרח לרכס הגלבוע (איור 1) מהווה חלק ממערכת השקעים הטקטוניים שנוצרו באזורנו החל מהמיוקן. הגבולות הגיאוגרפיים וההיסטוריים של בקעת בית שאן אינם מוגדרים היטב אך ניתן לתחום את גבולותיה בעזרת תוואים מורפוסטרוקטורליים: הבליק המזרחי של הגלבוע במערב ודרום מערב, הבליק הנטוי של שלוחת צבאים בצפון, והמתלול של העתק השוליים המערבי של בקע ים המלח במזרח. מתלול זה המפריד בין בקעת בית שאן במערב לעמק הירדן במזרח, יוצר מדרגת נוף שגובהה 30-50 מ' הנמשכת מאזור שדה תרומות בדרום ועד לנחל חרוד בצפון (איור 2).

אזור בקעת בית שאן נמצא בצומת טקטוני בו נפגשות כמה מערכות העתקים: במזרח מערכת העתקי השוליים המערביים של בקע ים המלח, במערב ודרום מערב העתקי השוליים של הגלבוע ובצפון מערכת ההעתקים של שולי הבליק הנטוי דרומה של שלוחת צבאים. האזור נפגע בעבר פעמים רבות מרעידות אדמה, הידועה שבהן היא הרעידה משנת 749 שהחריבה כליל את העיר הרומית-ביזנטית סקיתופוליס (בית שאן העתיקה).

במסגרת הסיור נסקור את המבנה הגיאולוגי של בקעת בית שאן, נצביע על עדויות לפעילות טקטונית צעירה לאורך העתק השוליים המערבי של בקע ים המלח ונתמקד ברצף סלעי הטופה המהווים את התשתית הנוכחית של חלקה המזרחי של בקעת בית שאן.

רקע גיאולוגי

בקעת בית שאן הנה חלק מאגן ניאוגני בו הצטברו סדימנטים של חבורות טבריה וים המלח בעובי של 500-900 מ' (Gardosh and Bruner, 1998). יחידות של תצורות הורדוס, בירה, הבולת התיכונה

ובזלת הכיסוי חשופות לאורך שולי בלוק הגילבוע (נחזור, 1988; שליב, 1991) וכן חשופות חלקן (בזלת תחתונה ובזלת הכיסוי) לאורך התוואי של נחל חרוד. בבקעת בית שאן חשופות מספר יחידות פלייסטוקניות והולוקניות: קונגלומרט ואדי מליח, רצף סלעי טופה ופרט פאצאל.

קונגלומרט ואדי מליח (Schulman and Rosental, 1968)

קונגלומרט שגילו המשוער פלייסטוקן תחתון-תיכון, מיצג באזור זה על ידי מניפת הסחף הקדומה של נחל בזק. המניפה מורכבת מחלוקים ובולדרים שנגזרו מכל החתר הגיאולוגי החשוף באזור (נחזור, 1991) והורבדו במניפה שהתפתחה בין שולי הגילבוע לכביש הבקעה. החתר של המניפה מלוכד חלקית על ידי קרבונט ומכוסה בקרום קלקריט קשה. מעל הקלקריט הורבד חתר של קרקעות אדומות שנסחפו מאגן הניקוז של הנחל, המהוות כיום את התשתית של השטחים החקלאיים באזור.

מניפות סחף קטנות התפתחו גם במוצא הנחלים אבנר ומליכישוע המנקזים את המורדות המזרחיים של הגילבוע וגם הן כוסו מאוחר יותר על ידי קרקעות שנסחפו מחלקיו הגבוהים של הרכס.

יחידת הטופה של בית שאן (נטורטין בית שאן Horowitz, 1979)

יחידה הבנויה מטופה (סלעי משקע קרבונאטים של מעיינות) המשתרעת מאזור שדה תרומות בדרום ועד לנחל חרוד בצפון. החתר של רצף סלעי הטופה חשוף לאורך המתלול הטקטוני התוחם את בקעת בית שאן ממזרח וכן לאורך האפיק של נחל חרוד. העובי החשוף של חתר הטופה הנו 30-40 מ', אך בקידוחים נמצא חתר נוסף בעובי של 20-30 מ' המשלים את העובי הכולל לכ-70 מ'. סלעי הטופה נמצאו בתת הקרקע גם ממערב לכביש בית שאן - שדה תרומות ונראה שמקורם במעינות שנבעו לאורך מערכת העתקי השוליים של בלוק הגילבוע.

סלעי הטופה משוכבים ואין בחתר עדויות לקיומו של תבליט מקומי בזמן הרבדתם. גג החתר יוצר מישור סדינטרי, אופקי בקרוב, המשתרע על כל בקעת בית שאן. הצטברות חתר עבה ומשוכב של סלעי טופה על פני כל הבקעה מצביעה על הרבדה בשווי משקל עם בסיס ניקוז הנמצא במזרח, כנראה אגם שהשתרע על פני עמק הירדן.

תארוך סלעי הטופה נעשה לראשונה על ידי Kronfeld et al. (1988) במחצבה ממזרח למושב רחוב בשתי שיטות: ^{14}C ו- $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. הגיל שהתקבל במחקר זה לחלקו העליון של החתר (כ-16 מ') הוא 40,000 - 22,000 שנה.

במסגרת מחקר שנעשה בשנתיים האחרונות (Rozenbaum et al., 2005), נמדדו מחדש גילים של שני חתכים שנעשו בסלעי הטופה בשיטת $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, האחד במחצבת רחוב (חתר בעובי של כ-30 מ') והשני מצפון לעין הנציב (חתר בעובי של כ-40 מ'). נמצא שגיל החתר מצפון לעין הנציב הנו כ-60,000

שנה בבסיס וכ-20,000 שנה בגג. במחצבת רחוב נמצא כי גיל בסיס החתך הוא כ- 70,000 שנה וגיל חלקו האמצעי הנו כ-50,000 שנה (לא התקבלו עדיין גילים מהחלק העליון של החתך).

גילים אלה מצביעים על כך שחתך הטופות הורבד בשולי אגם שהתקיים בעמק הירדן בפלייסטוקן העליון במקביל לאגם הליסן שהוא את בסיס הניקוז של מערכת מעינות שמקורם בשולי הגלבוע. הצטברות חתך הטופות העבה התאפשר ככל הנראה עקב שילוב של השתפלות הבקעה ועליית מפלס האגם שהגיעה לשיאה לפני כ- 24,000-27,000 שנה (Begin et al., Bartov, et al., 2002; Hazan et al., 2005; 1980);

תצורת הלשון

תצורת הלשון אינה חשופה בבקעת בית שאן ונראה שקו החוף של האגם עבר מזרחית למתלול הטקטוני המהווה את גבולה המזרחי. חוואר השייך לתצורת הלשון נחשף לראשונה לאורך הערוץ של נחל חרוד כקילומטר מזרחית למתלול שם הוא מונח מתחת לפרט פאצאל. מזרחה ממחשוף זה בונה הגג של תצורת הלשון משטח סדימנטרי אופקי בגובה של 240 מ' מתחת לפני הים.

פרט פאצאל (Horowitz, 1979)

פרט פאצאל הנו שם שניתן למאסף של סדימנטים שהורבדו מעל תצורת הלשון לכל אורך עמק הירדן. בעמק בית שאן מורכבת יחידה זאת מקרקעות סחופות שצבען אדמדם המכסות רצועה בחזית הגלבוע ואת מניפת הסחף של נחל בזק. בשולי עמק הירדן ממלאים הסדימנטים האדמדמים אפיקים החתורים בתוך חתך תצורת הלשון ובמרכז עמק הירדן נמצאו סדימנטים אגמיים. המונחים מעליה באי התאמה. (Begin, 1974; Bar-Yosef, 1974; ניב, 1976)

הגיל של פרט פאצאל אינו מוגדר היטב ונראה שהוא החל להצטבר לאחר נסיגת ימת הלשון בסביבות פלוביאליות מגוונות שנוצרו בבקעת בית שאן ועמק הירדן ופסק להצטבר עם התחלת הירדן בעמק הנוכחי. ככל הנראה באמצע ההולוקן לאחר התקופה הכלכליתית (Koucky and Smith, 1986; ניב, 1976).

טופות צעירות (פיקרד, 1929; ניר, 1961, 1989; רוזנטל, 1980)

סלעי טופה הולוקנים תוארו כבר על ידי Picard (1929) לאורך המעינות ממזרח למתלול הטקטוני המפריד בין עמקי בית שאן והירדן. פיקרד כינה טופות אלה בשם Kalktuff. טופות צעירות נמצאות לאורך כל המערכות הפלוביאליות בעמק בית שאן שם הן שקעו בסובבים מגוונים. כמו כן שקעו טופות לאורך מערכות הובלת מים קדומות למטרות השקיה או תעשייה (נטחנות קמח). ניר (1989) מציין שמעינות הנובעים לרגלי הגלבוע (כגון: עין שוקק ומגדל) משקיעים טופה גם כיום.

מורפוטקטוניקה וניאוטקטוניקה בבקעת בית שאן

המורפולוגיה של בקעת בית שאן מושפעת במידה רבה מהפעילות של המערכות הטקטוניות החוצות אותה (נבילצקי, 1996). ניתן להבחין בשתי מערכות עיקריות: המערכת הקשורה להעתק השוליים של בקע ים המלח שכוונה הכללי צפון-דרום ומערכת של ליניאמנטים החוצה את מערב עמק הירדן שכוונה הכללי לצפון מערב.

מערכת העתקי השוליים

האלמנט הטקטוני הבולט ביותר בבקעת בית שאן הוא המתלול המפריד בינה לבין עמק הירדן. מתלול זה נמצא מעל התוואי של מערכת העתקים שרוחבה כמה מאות מטרים הקשורה להעתק השוליים המערבי של בקע ים המלח (Gardosh and Bruner, 1998; Bruner et al., 2002; Zilberman et al., 2004).

ממערב להעתק נמצא אגן בית שאן בו עובי המילוי הנאוגני-פליסטוקני הוא 500-900 מ' ואילו ממזרח לו לא ניתן היה לאחר באמצעים גיאופיזיים את בסיס החתך ונראה שעומקו מספר קילומטרים (Gardosh and Bruner, 1998).

המתלול שגובהו 20-40 מ' מורכב משני מקטעים: בדרום הוא יוצר תוואי קשתי סביב רחוב ובצפון הוא יוצר מתלול רציף בין עין הנציב לנחל חרוד (איורים 2, 3). שורה של מעינות מלווה את תוואי ההעתק בין עין הנציב לשדה אליהו. לאורך המתלול חשוף חתך משוכב אופקית של טופה שגיל חלקו העליון הנו כ- 20.000 שנה ומכאן ניתן להסיק שהמתלול נוצר עקב העתקה הצעירה להרבדת חתך הטופה.

ביטוי לפעילות צעירה לאורך העתק זה ניתן לראות באופי מערכות הניקוז הקדומות בבקעת בית שאן. שאח שרידי תוואי הזרימה שלהן ניתן עדיין לזהות בעזרת האפיקים נטושים המופיעים בתצלומי אוויר משנת 1945 (Zilberman et al., 2004). בתצלומים אלה נראה שמערכות האפיקים היורדות מהגילבוע אינן מצליחות לחצות את מתלול העתק השוליים המערבי של הבקע והן נחסמות ממערב לו ויוצרות אזור ביצתי בין רחוב לקיבוץ שלוחות, המתנקז לצפון מערב אל נחל חרוד (איור 3). ממזרח למתלול, אותרה מערכת מסועפת של אפיקים נטושים שכוון זרימתם היה ממזרח למערב, אל רגלי המתלול ומשם הם זרמו לאורכו לצפון או לדרום. ממצאים אלה מצביעים על כך שהפעילות הצעירה לאורך המתלול היתה מלווה ברוטציה למערב על ציר אופקי של הבולקים משני עברי ההעתק. עקב כך, נחסמו מערכות הניקוז של הבולק המזרחי שהוטה למערב ולא חצו את שוליו למזרח ואילו מערכות האפיקים שניקזו את גג הבולק הירוד על גבי החתך של חצורת הלשון זרמו למערב. בתצלומי אוויר משנת 1945 ניתן לראות שמערכות הניקוז ממערב למתלול עדיין חסומות בעוד שאזור עמק הירדן שממזרח לו, התנקז אל הירדן. עדיין לא ברור מתי חל היפוך השיפוע באזור זה, אך נראה שהוא קשור להתחלפות הירדן באפיקו הנוכחי החל מאמצע ההולוקן (ניב, 1976).

בתעלה פאלאוסייסמית שנחפרה על התוואי של אחד הענפים המערביים של העתק השוליים, מצפון לתל רחוב (איור 4), נמצאו עדויות לשתי רעידות אדמה (Zilberman et al., 2004). האחת ארעה במאה השביעית לפני הספירה ויצרה מדרגה בגובה של כ- 1.2 מ' (מגניטודה של כ-6.5), והשניה ארעה במאה השישית לפני הספירה ויצרה מדרגה בגובה של כ- 1.5 מ' (מגניטודה של כ-6.6-6.7). ארוע צעיר יצר סדק החוצה את החתך הצעיר המכסה את המדרון בו חפורה התעלה ויתכן שהוא קשור לרעידה משנת 749 לספירה שהרסה את בית שאן.

מערכת ההעתקים של שולי הגלבע

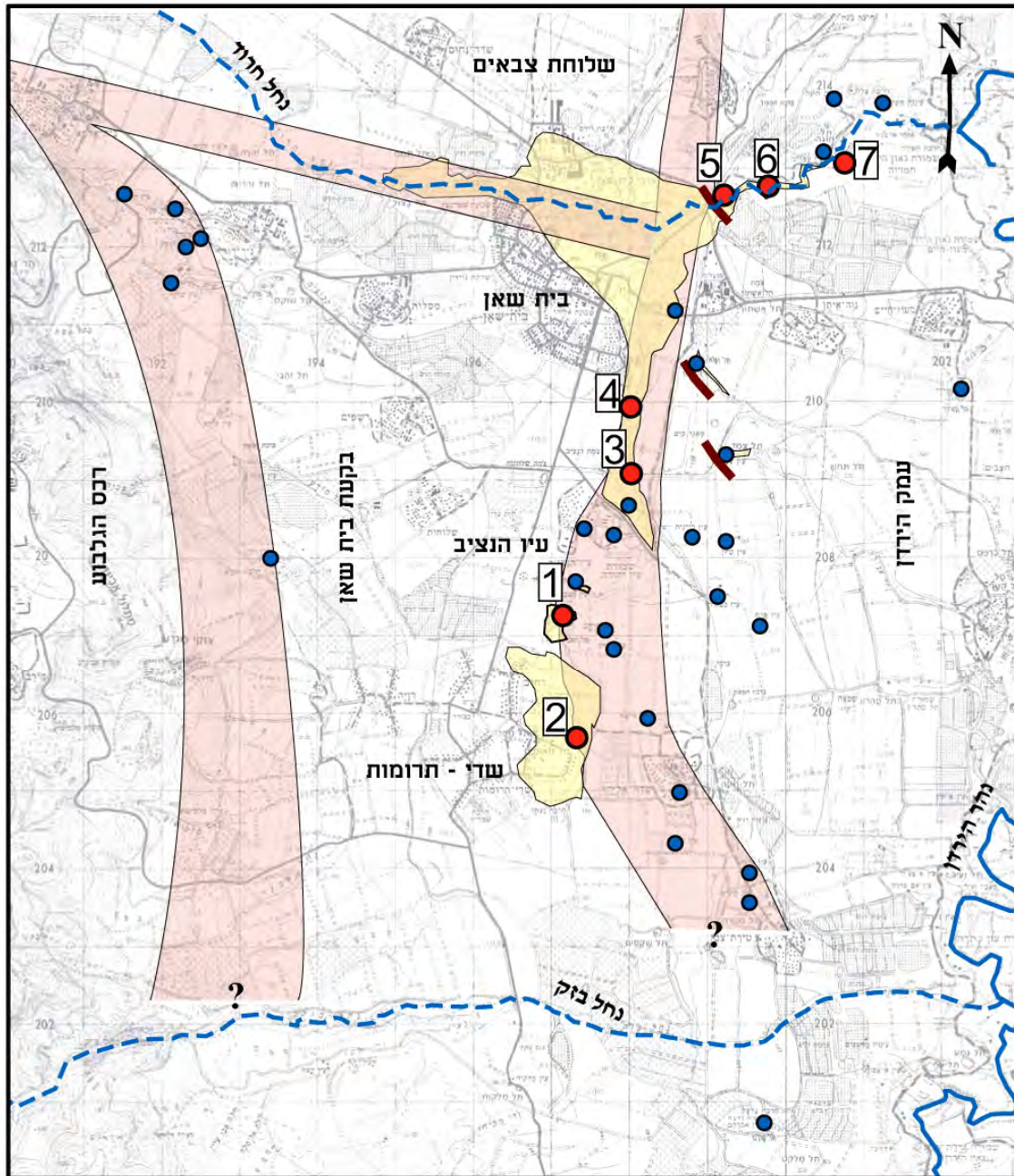
מערכת זאת שרוחבה מגיע עד ל- 1.5 קמ', תוחמת את שולי בלוק הגלבע המורם ממזרח ודרום מזרח (איורים 1, 3). חלקה חשוף על פני השטח במורדות הגלבע (נחזור, 1988) וחלקה זוהה בתת הקרקע של בקעת בית שאן על ידי Gardosh and Bruner (1998). לרוב, בנויה המערכת מהעתקים נורמליים שצדם הדרום מזרחי ירוד. לאורכה של מערכת זאת נובעים מעינות רבים.

מערכת העתקי השוליים של הגליל המזרחי

מערכת זאת שכוונה הכללי צפון מערב, מפרידה בין הבלוק המורם של הגלבע בדרום מזרח לבלוק הנטי דרומה של שלוחת צבאים בצפון מזרח. בתת הקרקע של עמק חרוד, נוצר מבנה של גרבת בין מערכת העתקי השוליים של בלוק הגלבע למערכת של שולי הגליל המזרחי (מילר ורשף, 2005). באזור בית שאן חופף חלקה הדרומי של המערכת את גבול התפוצה הצפוני של משטח הטופות.

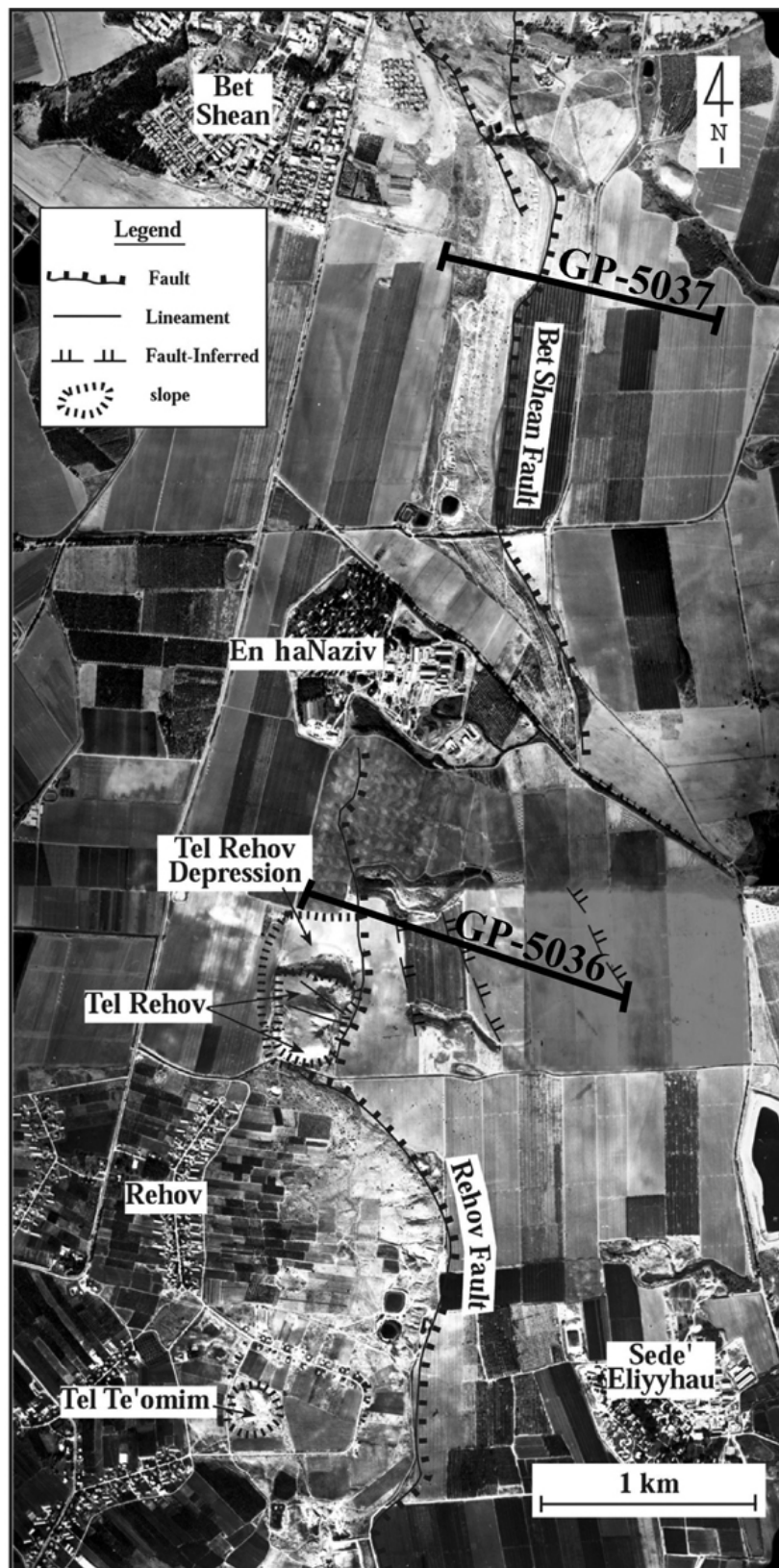
מערכת ליניאמנטים במערב עמק הירדן

מערכת של ליניאמנטים שחלקם מלווים במדרגות מורפולוגיות זוהתה על גבי המדרגה הנמוכה שממזרח למתלול העתק השוליים (רוזנבאום, בהכנה). הכוון הכללי של מערכת זאת הוא לצפון מערב והיא מתבטאת בתוואי לינארי של קטעי אפיקים ובמדרגות נוף בהן בדרך כלל הצד הצפון מזרחי נמוך (איור 1). לא נמצא ביטוי למערכת זאת ממערב למתלול, אך יתכן שהדבר נובע מכך שכל תוואי הנוף הטבעיים באזור זה נמחקו כמעט כליל. מערכת זאת דומה בכוונה למערכת ההעתקים של הגליל התחתון ובלוק הפריעה מדרום לבקעת בית שאן.

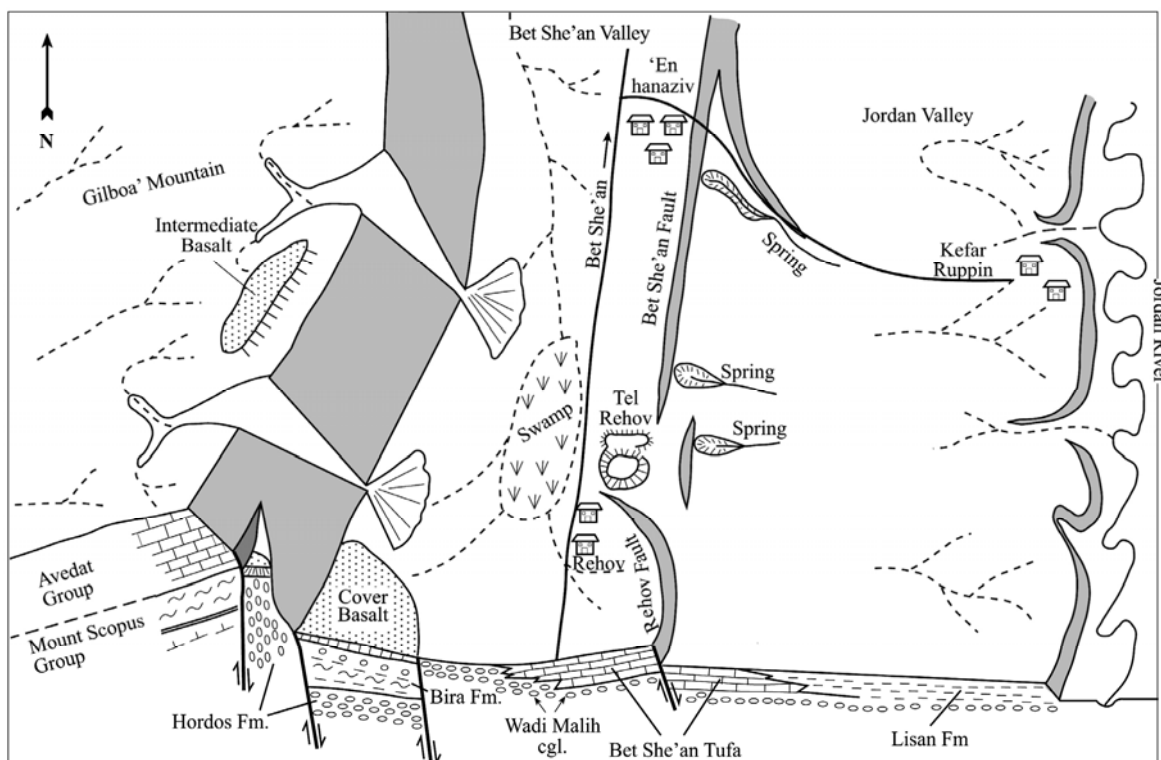


- | | |
|---|---|
|  Tufa outcrops |  Location of the field trip stations |
|  Faults belt (schematic) |  Spring |
|  Fault (inferred) |  Stream |

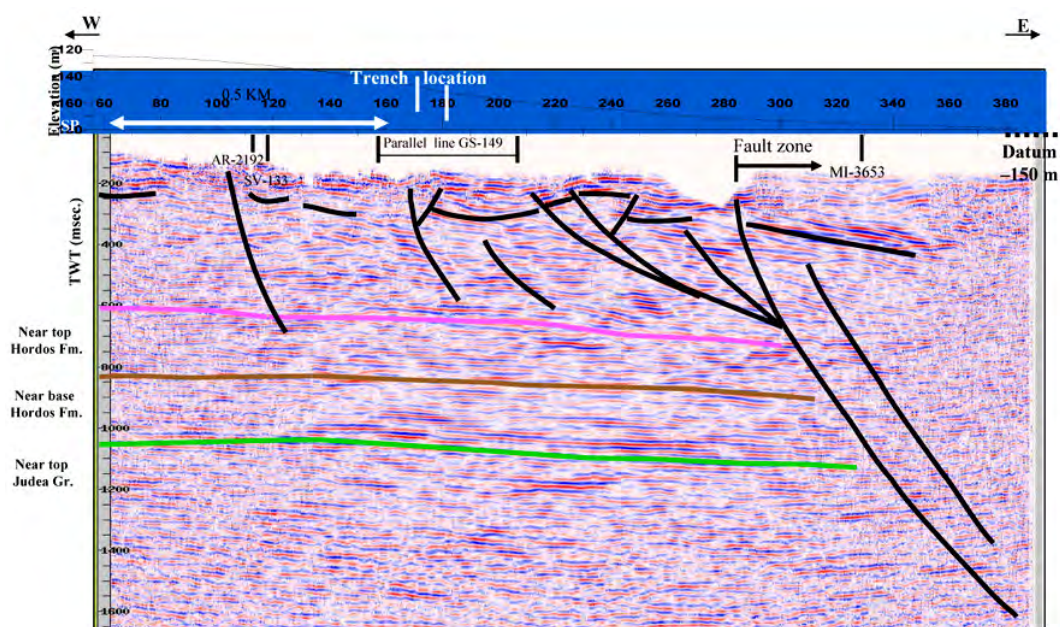
איור 1 - מפת בקעת בית שאן עליה מסומנים מסלול הסיור, מחשופי הטופה ומערכות ההעתקים העיקריות



איור 2 - מערכת המחרלות המסמנת את התוואי של העתק השוליים המערבי של בקע ים המלח. מסומנים התוואים של הקווים הסייסמיים הניצבים למחרל.



איור 3 - איור סכמטי של המבנה הגיאולוגי של בקעת בית שאן. על גבי האיור מסומנת רשת הניקוז הנטושה שניקזה בעבר את עמק הירדן מערבה ורשת הניקוז הפעילה של בקעת בית שאן הנחשמת בשולי המחלול של מערכת ההעתקה וזורמת לצפון אל נחל חרוד. (המיפוי נעשה בעזרת תצלומי איור משנת 1945).



חתך סייסמי GP-5036 מפוענה.

איור 4 - העתק השוליים המערבי של בקע ים המלח מצפון לתל רחוב (ראה איור 2) כפי שהוא מופיע בחתך הסייסמי GP-5036. מסומן תוואי התעלה הפלאוסיסמית בה נמצאו עדויות לשתי רעידות אדמה: האחת במאה השביעית לפני הספירה והשנייה במאה השישית לפני הספירה.

מושגים בסיסיים על טופה

טופה היא סלע קרבונטי השוקע ממים מחוקים בטמפרטורה של פני השטח במערכת של מים זורמים ומים עומדים, באסוציאציה עם המערכת הביולוגית המתקיימת בסביבה המימית: צמחים עילאיים, אצות, חסרי חוליות ובקטריות ששרידיהם נמצאים בתוך הטופות. טרורטין לעומתו, הוא סלע קרבונטי השוקע במים ממקור הידרותרמלי במנגנון המשלב תהליכים פיזיקו-כימיים ופעילות מיקרוביאלית, והוא אינו מכיל שרידים של צמחים וחסרי חוליות (Ford and Pedley, 1996).

סלעי הטופה שוקעים במגוון של סביבות מימיות פתוחות כגון: מעיינות, נחלים, אגמים וביצות ולכן המודלים המתארים סביבות השקעה של טופות מתייחסים למערכת פלוביאלית מורכבת ודינמית בזמן ובמרחב (Carthew et al., 2003).

טופה היא מערכת בעלת אירגון עצמי (self-regulated or self-organized), היוצרת סביבה בה שולטים תהליכי הצטברות של סדימנט בתוך מערכת פלוביאלית היוצרת בדרך כלל סביבה ארוזיבית (Ford and Pedley, 1996).

מיון (נקליסיקציה) של טופות מתבסס על אופי ההשקעה (אוטוטוכנית או אלוכטונית), המרכיבים העיקריים מהם בנויה הטופה, והטקסטורה של הסלע סוכמו על ידי Ford and Pedley (1996) (נראה טבלה מס. 1).

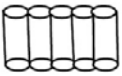
תחנות הסיוור

תחנה מס 1 - תל רחוב תצפית על עמק בית שאן ותל רחוב

תל רחוב הנו אחד מהתלים הגדולים בארץ. הוא בנוי משתי מדרגות: התל הדרומי שגובהו כ- 20 מ' והתל הצפוני שגובהו כ- 8 מ'. התל נמצא בעמק קטן שנוצר בתהליכי העתקה לאורך המתלול המזרחי של בקעת בית שאן בשולי משטח הטופה.

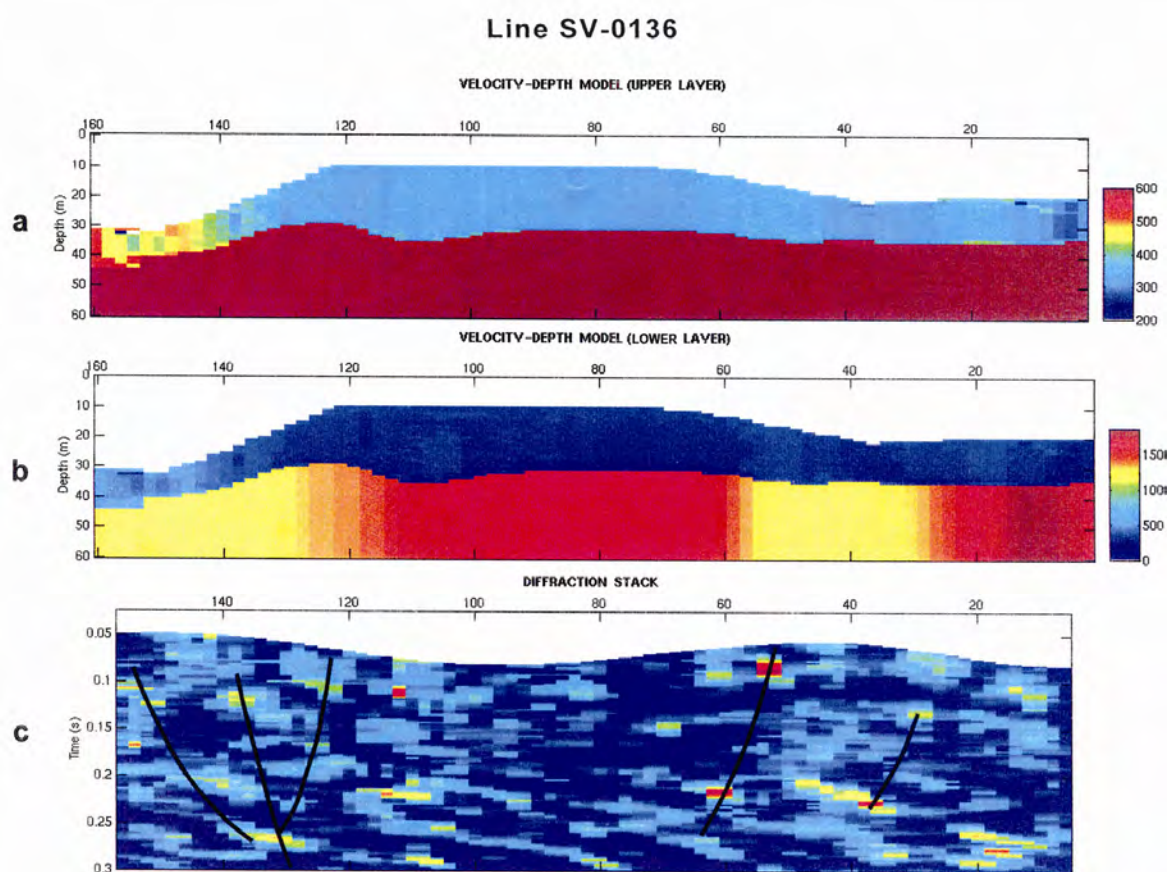
התל נחפר החל משנת 1997 על ידי פרופ' ע. מזר מהאוניברסיטה העברית שמצא על התל התחתון רצף ישובים החל מהמאה ה- 13 לפני הספירה ועד למאה השמינית לפני הספירה. רצף השרידים הארכיאולוגיים מונח כאן על שכבת טופה שעוביה כ- 2 מ' שמתחתיה נמצאה שכבת חרסית המכילה שרידים מהמאות ה- 14-15 לפני הספירה. הישוב על התל התחתון נחרב ונגנש בין השנים 980-830 לפני הספירה בעוד שעל התל העליון המשיך להתקיים ישוב עד שנת 732 לפני הספירה, בה פלשו האשורים לאזור והחריבו גם אותו. מאז לא יושב התל פרט לכפר מוסלמי קטן שהתקיים על התל העליון בין המאות הרביעית והשתיים עשרה לספירה.

טבלה 1: הפאציאסים העיקריים של סלעי הטופה וסביבת השקעתם

Deposit Type	Tufa Facies	characteristics	Relatively energy of deposition	Depositional environment	Texture
Autochthonous	Phytotherm tufa 	Thick laminated crust formed by calcified cyanobacteria. Manifested mostly as heads of stromatolites.	low	Springs, shallow rivers, channels carrying little bedload, lake.	Boundstone
	Phytotherm framestone 	Sets of vertical or recumbent cylinders of carbonate. Compose of macro and microphytes.	low	Springs, waterfalls, shallow rivers, lakes, swamp.	
Allochthonous	Oncoidal and cyanolith tufa 	Nodules formed by calcified bacteria and contain preserved calcified sheet material. Size from silt to cobble size.	high: Spheroidal forms. low: Oblate forms. Relatively static: free forms.	Shallow rivers, fluvial channels, sluggish flows, lakes.	Grainstone
	Intraclast tufa 	Silt to gravel size detrital tufa product of transport of tufa elements from fluvial channels.	high	Fluvial channels, shallow rivers, and swamps.	
	Phytoclast tufa 	Cylindrical clasts of macro and microphytes. Form a grain supported fabric with leaves and branch fragments, which were cemented during and or after transport.	high	Fluvial channels, shallow rivers, waterfalls, swamps.	Wackestone/Packestone
	Micrite tufa	Often composed of structureless micrite. In thin section could identify clotted texture.	low	Lakes, ponds and swamps.	Lime Mudstone
	Peloidal tufa	Only detectable petrologically. Peloids often are grouped into polynucleated masses 10-70 μm in diameter.	low	Lakes, ponds and swamps.	

בסדרת קיום סייסמים שנעשו בתל וסביבתו נמצא שהוא יושב על בלוק של טופה נטוי למזרח, המוקף מצפון, מערב ודרום בהעתקים (Zilberman et al., 2002). ניתן לראות את התבליט הטבעי של התל בקו סייסמי החוצה את שני חלקי התל בכוון צפון-דרום (איור 5). החתך מראה שהחלק האנטרופוגני של התל הגבוה מכסה על גבעת טופה נמוכה (כ-10 מ') שבשוליה הדרומיים קיים העתק בעל מבנה מתפצל (Flower structure). כמו כן נמצא העתק מתחת לגבול בין התל הגבוה לנמוך. לא ניתן היה לראות אם החתך האנטרופוגני מועתק עקב העדר מחזירים סייסיים בתוכו.

למרות שהגבעה הטבעית הייתה נמוכה מסביבתה היא יושבה עקב קרבתה למעין בו הורבדה שכבת הטופה בין המאות ה-15 וה-13 לפני הספירה. הטופה שהצטברה בגוף מים שהתקיים לרגלי התל הגבוה מעלה אפשרות שחל שינוי בנוף מאז הרבדה, מאחר שכיום היא נמצאת על פרשת מים מקומית המורמת מעל מערכות הניקוז של שולי התל. יתכן ששינוי זה קשור לרעידות האדמה שאותרו בתעלה, שיצרו מחלול בגובה של כ-3 מ' מצפון מזרח לתל וגרמו להאצת ההתחתרות של הנחלים המנקזים את שוליו.



איור 5. המבנה התת קרקעי של תל רחוב בחתך סייסי שכוון צפון-דרום. באיורים a, b - החלק התחתון (גוונים אדומים וצהובים) בנוי מסלעי טופה והעליון (גוונים כחולים) מסדימנטים אנטרופוגניים. באיור c, מוצגים ההעתקים מתחת לתל: ההעתק השמאלי בעל המבנה המתפצל (Flower structure), הנו חלק מהמקטע הדרומי של העתק השוליים של בקעת בית שאן המקיף את רחוב (ראה איור 2). ההעתק המרכזי נמצא מתחת לגבול בין התל הגבוה לתל הנמוך.

תחנה 2 - חתך הטופה במחצבת רחוב נ.צ. 19750/20600

חתך הטופה שנחשף במחצבת רחוב הנו בעובי של כ- 30 מ' (איור 7). החתך הצטבר בשלושה שלבים שכל אחד מהם מייצג סביבת השקעה שונה.

החלק התחתון שעוביו כ-16 מ' הצטבר בין 60,000 ל-70,000 שנה לפני זמננו בסביבה בעלת אנרגיה נמוכה בה הורבדה טופה המכילה בעיקר *Phytoherm framestone and boundstone*, אך גם *Phytoclast and intraclast tufa*. החתך מורכב משכבות אופקיות בקרוב, שעובין 100 - 30 סמ'.

חלקו התחתון של החלק התיכון שעוביו כ-16 מ' הצטבר בין 70,000 ל-60,000 שנה לפני זמננו. החלק העליון לא תוארך מאחר שלא ניתן לקבל ממנו גיל מהימן. חלק זה של החתך מורכב בעיקר מטופות קלסטיות: *Phytoclast tufa and intraclast tufa* שחלקן מראות טקסטורה של ריעוף (אימבריקציה). חתך זה הצטבר במערכות פלוביאליות בעלות אנרגיה זרימה גבוהה יחסית.

החלק העליון של החתך שעוביו כ-3 מ' מורכב בעיקר מקירטון וחואר בהם צפים פיטוקלסטים וקונכיות של מלנופסיסים. חלק זה הורבד בסביבה מימית רדודה בעלת אנרגיה נמוכה שהוצפה מדי פעם על ידי שטפונות שהסיעו חלקי טופה אל מישורי ההצפה.

תחנה 3 - חתך הטופה מצפון לעין הנציב נ.צ. 20915/19720

מצפון לעין הנציב עובי חתך הטופה החשוף במתלול הוא כ-40 מ' (איור 8). חלקו התחתון של החתך (כ-6 מ'), נדגם בתעלה בבסיס המתלול וחלקו העליון (כ-14 מ'), נדגם במאגר מים נטוש שנחצב בגג החתך. חלקו האמצעי של החתך אינו חשוף.

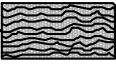
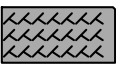
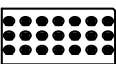
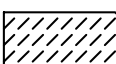
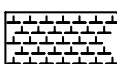
בתעלה נחשף מישור אי התאמה בין בסיס החתך המורכב מטופה מיקריתית לחתך של טופה קלסטית. גיל הטופה המיקריתית נקבע ל-60,000 שנה והחתך שמעליה גילו כ-40,000 שנה. חלקו העליון של החתך מורכב משכבות של מספר פאציאסים של טופות, כאשר בבסיסו שולטת תערובת של פאציאסים אלוכטוניים ואוטוכטוניים ואילו בחלקו העליון שולטים פאציאסים אלוכטוניים. את החתך סוגרת יחידה של טופה קירטונית המכילה פיטוקלסטים הדומה לזאת שנמצאה בגג החתך של מחצבת רחוב. החתך מראה כפיפה קלה למזרח בשולי המתלול, כנראה עקב גרירה (drag) על ידי ההעתק.

גילו של החתך החשוף כאן הוא 40,000 שנה בבסיס ו-20,000 שנה בגג. חלק זה של החתך נמצא בעמדה סטרטיגרפית דומה לחלקו העליון של החתך במחצבת רחוב שלא תוארך. ההבדלים בעמדה המורפולוגית של היחידות שגילן כ-40,000 שנה (בבסיס המתלול ובגגו) ותופעות הגרירה בחלקו המזרחי של החתך שבגג המתלול, מרמזים על כך שהעתק העובר בין שני המחשופים מוריד את הצד המזרחי של החתך בשעור של כ-20-30 מ'.

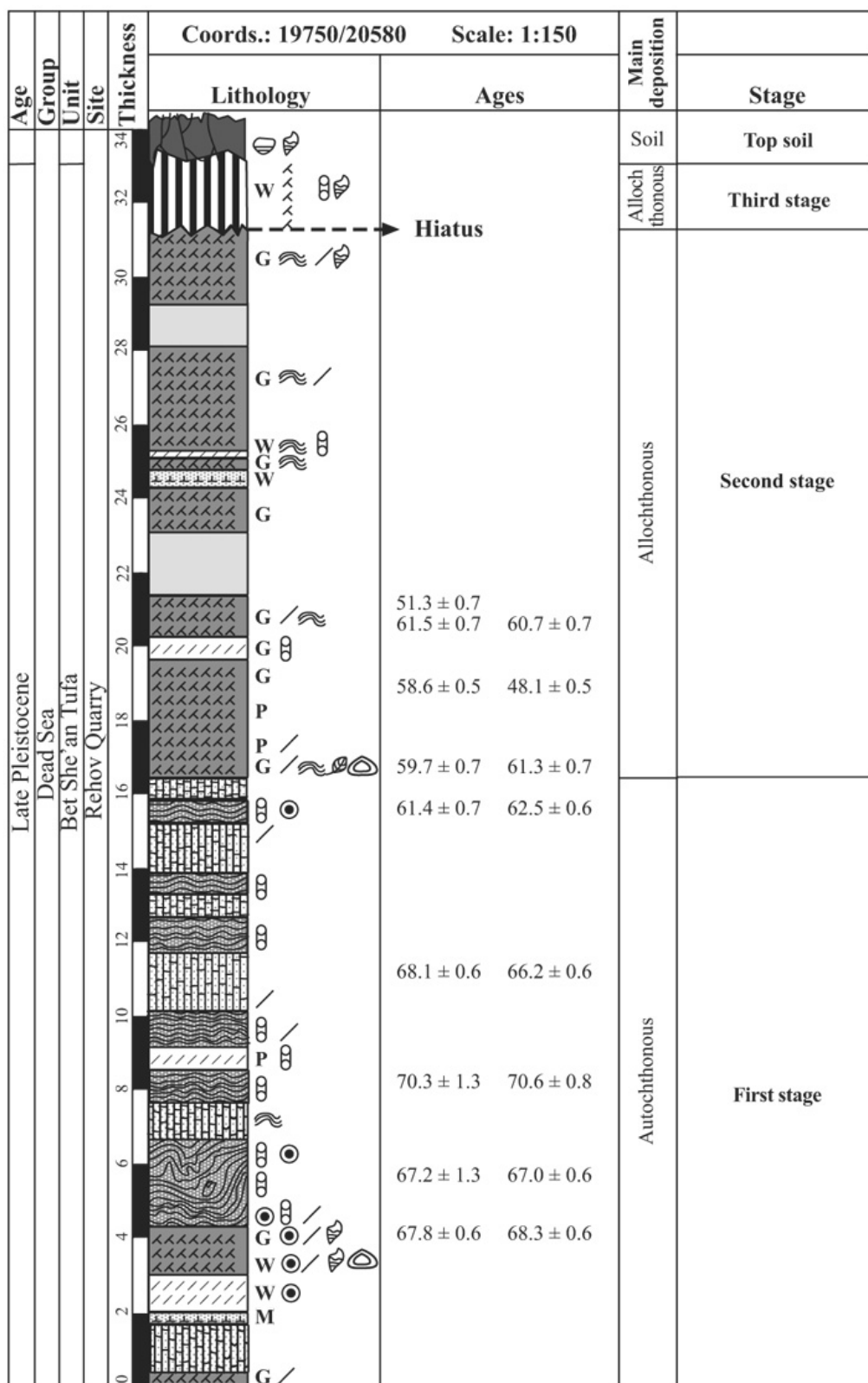
תחנה 4 - טופה צעירה שהורבדה על המתלול נהליכה של כקילומטר לאורך המתלול על דרך עפר

בין עין הנציב לבית שאן מכוסה המתלול בשכבת טופה צעירה שהורבדה על ידי מים שזרמו מזרחה על גבי המדרון. במקומות אחדים נראה שטופה זאת קשורה למערכות הובלת מים קדומות. בסיום נצפה על טופה מפאציאס של Phytoherm framestone שהורבדה במפל מים מלאכותי שנוצר לאורך תעלה שהובילה מים לתחנת קמח מהתקופה הרומית וכן טופה של משטחי אצות (Phytoherm boundstone) שהורבדה על גבי המתלול.

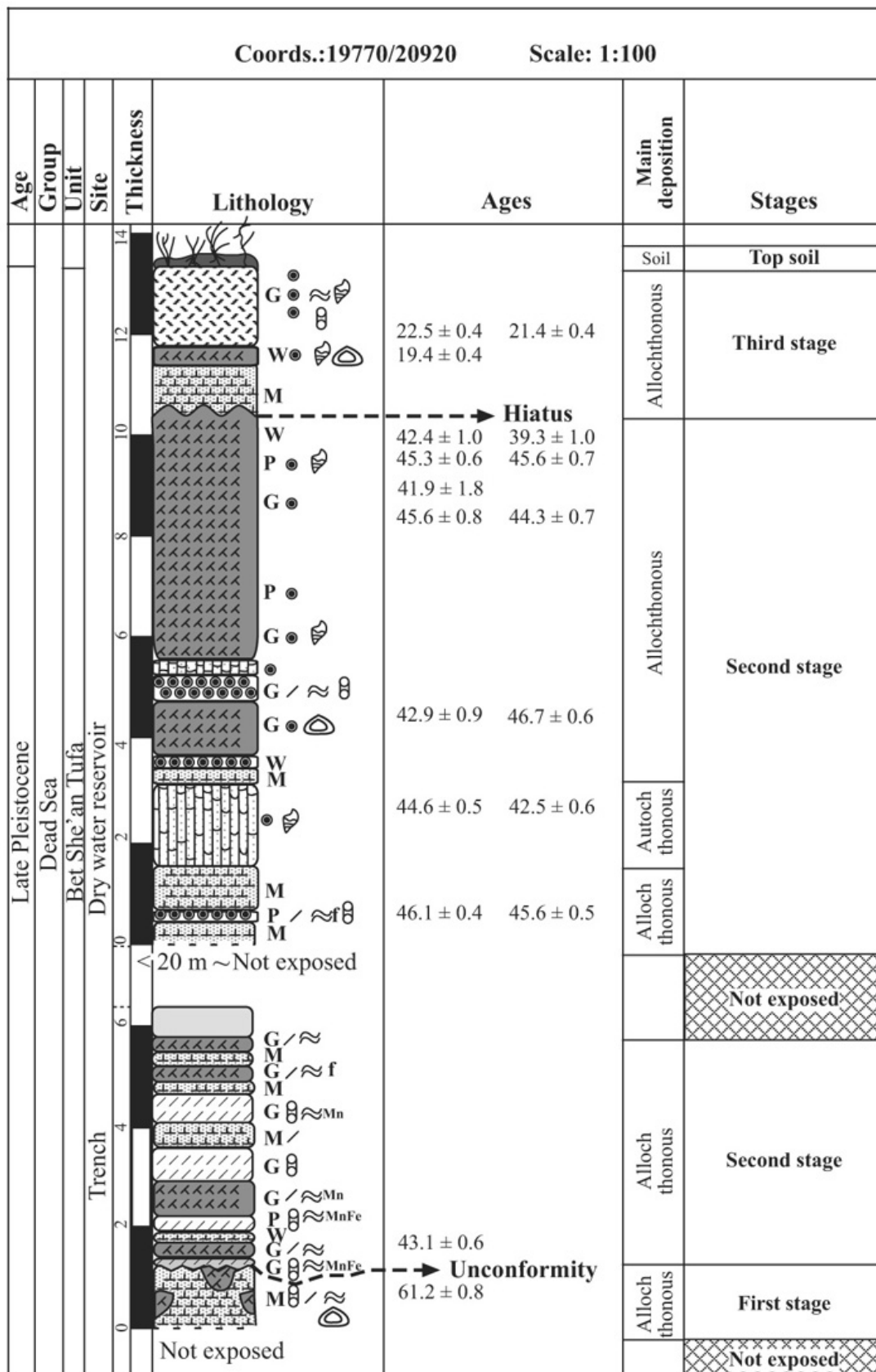
LEGEND

	Phytoherm boundstone (stromatolite)		Soil
	Phytoherm framestones (steams)		Talus
	Phytoclast tufa		Marl
	Cyanolith 'Oncoidal' tufa		Chalk
	Intraclast tufa		Microdetrital tufa
	Unconformity		Fragments of phytoherm boundstone (Stromatolite)
	Oncoid		Phytoherm
	Intraclast		Fragments of leaves and plants
	Fossil		Grainstone
	Ostracoda		Packstone
	Gastropoda		Wackestone
	Pottery fragments		Mudstone

איור 6. מקרא לחתכים הסטרטיגרפיים



איור 7: החתך של הטופות במחצבת רחוב



איור 8: החתך של הטופות מצפון לעין הנציב

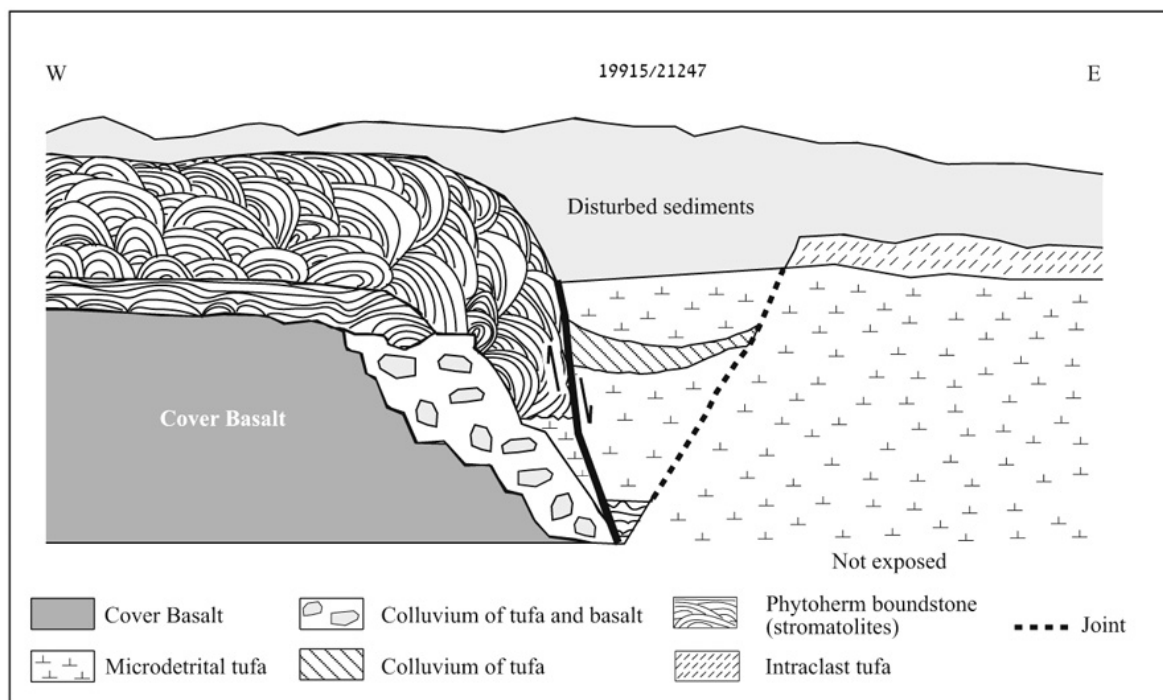
תחנה 5 - קניון הבזלת בנחל חרוד נ.צ. 19920/21250

קניון הבזלת הנו כינוי לקטע בו יוצר נחל חרוד מפלים הנשענים על שכבות של בזלת נככל הנראה בזלת הכיסוי. המפל מפריד בין העמק העליון של הנחל החתור בתוך חתך הטופות מגיל פלייסטוקן מאוחר לבין עמק קניוני צר המתחתר בחתך של טופות צעירות ומזרחי יותר גם בחתך של תצורת הלשון.

המפלים נוצרו על ידי שני העתקים שההסטה האנכית לאורכם הנה מספר מטרים. ההעתק המזרחי, שכוונו הכללי לצפון מערב, הנו הבולט ביותר והוא מעמיד חתך של בזלות במערב מול חתך משוכב של טופות במזרח. ניתן לעקוב אחרי תוואי ההעתק עד לפני השטח.

ממערב להעתק מכוסה בסיס הבלוק העליון בדדרת (קולוביום) עליו הורבדה טופה של משטחי אצות שציפו את המדרון כאשר המפל זרם מעליו עוד לפני שהורבד חתך הטופות הנמצא כיום ממזרח לקו ההעתק ושממלא כליל את העמק הקדום (איור 9).

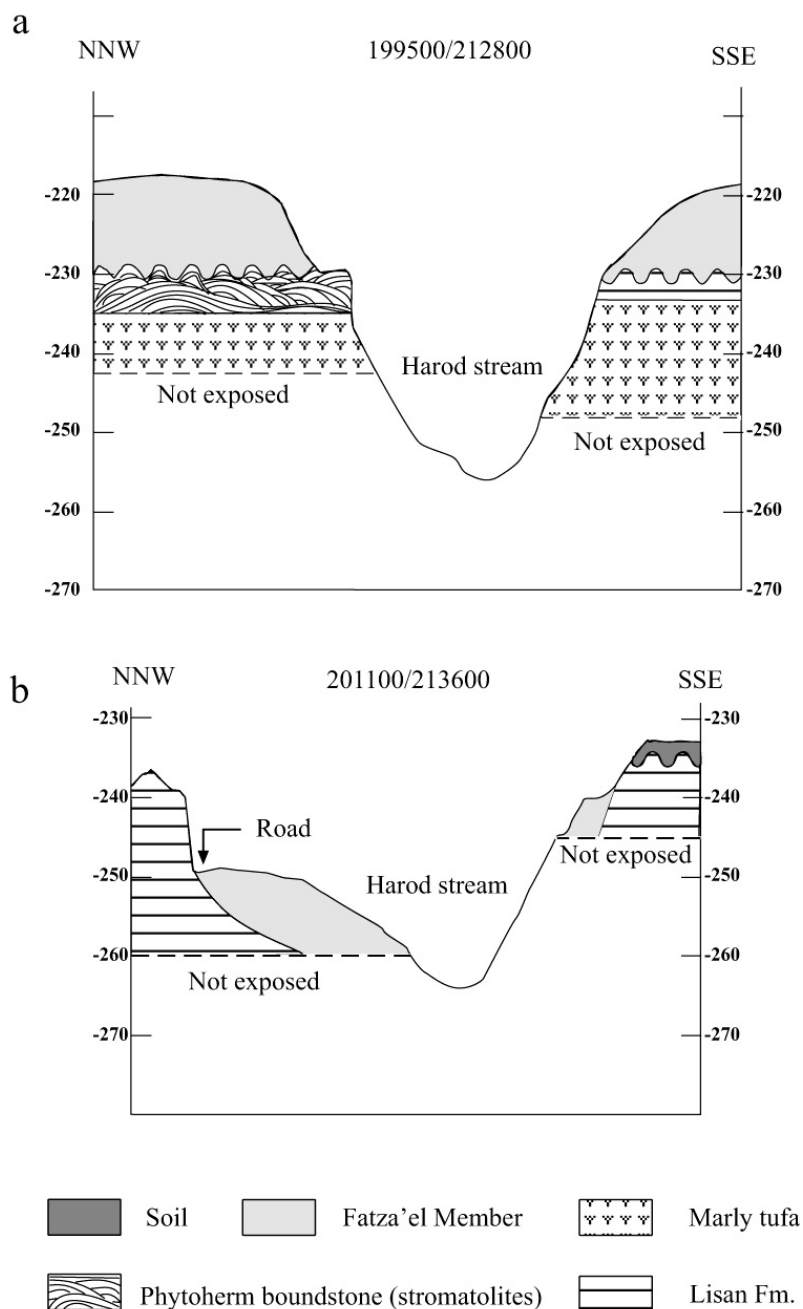
ההתחתרות הנוכחית של נחל חרוד קשורה בעיקרה להתחתרות הירדן בהולוקן, אך יתכן שהיא מושפעת גם מתנועות טקטוניות צעירות לאורך מערכת ההעתקים החוצה את תוואי האפיק.



איור 9 - חתך סכמטי של אזור השבירה בקיר הצפוני של "קניון הבזלת" של נחל חרוד

תחנה 6 - היחסים הסטרטיגרפיים בין תצורת הלשון לחתך הטופה ופרט פאצאל לאורך אפיק נחל חרוד (נקודת התחלה - ליד סככת תצפית בשולי הכביש המוביל לעין חוגה)

באפיק נחל חרוד, ממזרח לקניון הבזלת ניתן לעקוב אחרי החתך הצעיר בו מתחת הנחל. באזור זה מונח פרט פאצאל האדמדם על טופות (איור 10a) המתאצבעות במזרח עם תצורת הלשון. מתחת לפרט פאצאל חשופה שכבה המורכבת מחלקיקי טופה ממוינים, ארוזים בצפיפות, בגודל של חול-גריט ללא חומר דק. בגג השכבה נמצאו גלונים גדולים שכוונם מאונך לכוון הזרימה של הנחל (כוון הציר של הגלונים הוא 040). יתכן ששכבה זאת הורבדה בקו חוף קדום של אגם הלשון.



איור 10 - היחסים הסטרטיגרפיים בין תצורת הלשון לחתך הטופות ופרט פאצאל לאורך אפיק נחל חרוד

תחנה 7 - תצפית על חתך של תצורת הלשון ליד שער הכניסה לפארק של עין חוגה
בתחנה זאת חשוף חתך כביש של תצורת הלשון. ניתן לצפות מכאן על המשטח של גג תצורת הלשון מדרום לנחל חרוד ועל שרידי פרט פאצאל הממלאים תבליט שהתפתח על קרקעית האגם שנחשפה (איור 10).

תודות

החומר עליו מתבסס הסיום נלקח מסדרת מחקרים שנעשו בבקעת בית שאן על ידי ע. זילברמן ר. אמיט וא. ברונר. המחקר על הטופות הנו חלק מעבודת הגמר של א. רוזנבאום בהדרכת ע. זילברמן, מ. בר-מתיוס, א. עגנון וא. איילון. גילי הטופות נעשו במעבדה הגיאוכימית של המכון הגיאולוגי. האיורים והעריכה נעשו במכון הגיאולוגי על ידי בת שבע כהן וחנה נצר-כהן.

מקורות

- Begin, Z.B., Ehrlich, A. and Nathan, Y., 1974. Lake Lisan, the Pleistocene precursor of the Dead Sea. *Geological Survey of Israel Bull.* No 63, 30 pp.
- Begin, Z.B., Broecker, W., Buchbinder, B., Druckman, Y., Kaufman, A., Magaritz, M. and Neev, D. 1980. Dead Sea and Lake Lisan levels in the last 30,000 years. *Geological Survey of Israel, Rep.*, GSI/29/85, 18
- Belitzky, S., 1996. Tectonic geomorphology of the lower Jordan Valley – an active continental rift. Ph.D. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem, 98 pp. (in Hebrew, Eng. Abst)
- Bartov, Y., Stein, M., Enzel, Y., Agnon, A. and Reches, Z., 2002. Lake levels and sequence stratigraphy of Lake Lisan, the Late Pleistocene precursor of the Dead Sea. *Quaternary Research*, 57: 9–21.
- Bar-Yosef, O., Goldberg, P. and Levenson, T., 1974. Kebaran and Natufian sites in Wadi Fatza'el, Jordan Valley, Israel. *Paleorient* 2(2): 415–428.
- Bentor, Y.K., 1946. The hydrological conditions of the area of Tiberias–Kinneret–Yavneel–Hadatha–Kefar Kama–Lubya (Lower Galilee). *Palestine Water Co.* 76 pp.
- Bruner, I., Zilberman, E. and Amit, R., 2002. High Resolution Seismic Reflection Survey in Tel Rehov and Biq'at Bet She'an. GSI rep. GSI/37/02; GII rep. 679/250/02, 11 pp (in Hebrew)

- Carthew, K.D. and Taylor, M.P., Drysdale, R.N., 2003. Are current models of tufa sedimentary environments applicable to tropical systems? A case study for the Gregory River. *Sedimentary Geology* 162: 199–218.
- Ford, T.D. and Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth–Science Reviews*, 41: 117–175.
- Gardosh, M. and Bruner, I., 1998. Seismic Survey in the Bet Shean area. *Geophysical institute of Israel*, Report 348/27/98, 13 pp.
- Hazan, N., Stein, M., Agnon, A., Nadel, D., Marco, S., Nadel, D., Negendank, J.F.W., Schwab, M.J. and Neev, D., 2005. The late Quaternary limnological history of Lake Kinneret. *Quaternary Research*, 63: 60–77.
- Hazor, Y., 1988. The geology of the Gilbo'a area. M.Sc. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem. 107 pp. (in Hebrew, English abst.).
- Heimann, A. and Braun, D., 2000. Quaternary stratigraphy of the Kinnarot Basin, Dead Sea Transform, northern Israel. *Israel Journal of Earth Science*, 49:31–44.
- Horowitz, A., 1979. “*The Quaternary of Israel*”. Academic Press, New York.
- Kronfeld, J., Vogel, J.C., Rosenthal, E. and Weinstein–Evron, M., 1988. Age and paleoclimate implications of Bet Shean Travertine. *Quaternary Research*, 30, 298–303.
- Koucky, F.L. and Smith, R.H., 1986. Lake Beisan and the prehistoric settlement of the northern Jordan Vally. *Paleorient*, 12/2: 27–36.
- Meiler, M. and Reshef, M., 2005. The geology of Bet She'an basin, as a basis for hydrogaological model. Report ES/36/2005, 20 pp.
- Neev, D., 1976. The geology of Lake Kinneret. *Geogical Survey of Israel*, 17 pp. (in Hebrew).
- Neev, D. and Hall, J. K. 1977. Climatic fluctuations during the Holocene as reflected by the Dead Sea Levels. Reprint presented at the International Conference on terminal Lakes, Weber State College, Ogden, Utah., 5 pp.
- Pedley, H. M., 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufa. *Sedimentary Geology*, 68: 143–154.
- Picard, L., 1929. Zur Geologie der Besan–Ebene. *Z. Deutsch. Palaestina Verenis*, 51/1: 4–73.
- Rosenthal, E., 1980. “Hydrogeology and Hydrochemistry of the Bet Shean, Harod and Mehola Valleys – Methods of Tracing Groundwater Flow and

- Salinization Processes in a Multiple Aquifer System. Ph.D Thesis, Hebrew Univ. of Jerusalem (Unpublished)
- Rozenbaum, A., Zilberman, E., Bar-Matthews, M., Ayalon, A. and Agnon, A., 2005. Tufa deposits in Bet Sh'ean Valley – Stratigraphic analysis of the tufa plateau. Geological Survey of Israel Rep. Es-9-2005.
- Shalem, N., 1954. Seismicity and Erithrean disturbance in the Levant. Rome, Buren Cent. *Seism. International* Publ. Ser. A, 19: 267-295.
- Shaliv, G., 1991. Stages in the tectonic and volcanic history of the Neogene basin in the Lower Galilee and the Valleys. Ph.D. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem, 94 pp. (in Hebrew, English. Abst.).
- Schulman, N., 1962. The geology of the central Jordan valley. Ph.D thesis, Hebrew Univ., Jerusalem, 103 pp. (in Hebrew, English, Abst.)
- Schulman, N., and Rosenthal, E., 1968. Neogene and Quaternary of the Marma Feiyad area south of Bet She'an. *Israel Journal of Earth Science* 17: 54-62.
- Zilberman, E., Bruner, I., Amit, R. and Landa, Y., 2002. The subsurface structure of Tel Rehov, Bika't Bet She'an – results of high resolution seismic reflection survey. *Isr. Geol. Surv. Curr. Res.* 13: 9-18.
- Zilberman, E., Amit, R., Bruner, I. and Nahmias, Y., 2004. Neotectonic and paleoseismic study – Bet She'an Valley. *Isr. Geol. Surv. Report GSI/15/04*, 37 pp.

הגיאולוגיה של מרכז ודרום אזור הכרמל

עמית שגב

המכון הגיאולוגי, ירושלים

איתן שש

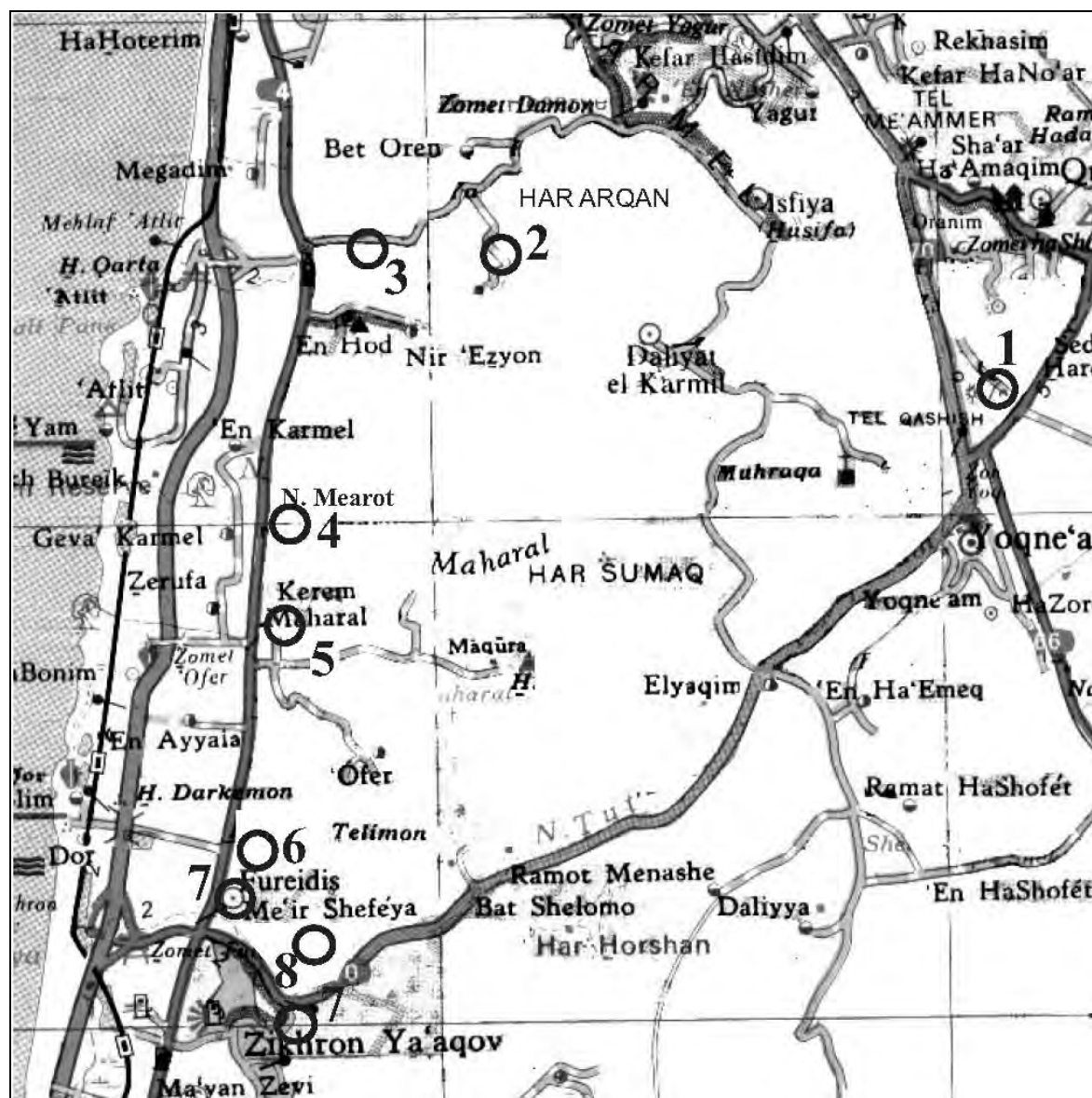
האוניברסיטה העברית, ירושלים

מבוא

מיפוי גיאולוגי חדש של גיליון עתלית בקנה מידה 1:50,000 שמתבצע במסגרת פרויקט של המכון הגיאולוגי נמצא עתה בשלב מתקדם. הסיור הנוכחי יערך על החלק ההררי, התחום מדרום ע"י כביש ואדי מילק, ממזרח ע"י העתק הכרמל וממערב ע"י כביש פרדיס-חיפה (איור 1).

הגוש הטקטוני המזרחי של הר הכרמל בנוי בעיקר מסלעים קרבונטים מגיל אלביאן עד טורון וביניהם יחידות של סלעים פירוקלסטיים בסיסיים. חקר הגיאולוגיה של הכרמל החל כבר בשלהי המאה התשע עשרה ועסק בייחוד בנושאים ביוסטרטיגרפיים (Lartet, 1869; Hull, 1886; Noetling, 1885). מאז ועד שנות ה-60 של המאה ה-20 נעשו עבודות בנושאים ביוסטרטיגרפיים וטקטוניים שונים ובהן הוצגו פרטים שונים לעדויות שנמצאו באזור הר הכרמל נ (Blanckenhorn, 1912, 1914, 1925, 1931; Fohs, 1927; Picard, 1926, 1928, 1943, 1958; Blake, 1928, 1936, 1939; Vroman, 1938, 1960; Ball and Ball, 1953; Bentor and Vroman, 1954; Picard and Kashai, 1958; Karcz, 1959; Freund, 1961; Folkman, 1969; Ron et al., 1984; 1986; Ron et al., 1990; קשאי, 1966; אכמון, 1986). מיפוי מפורט של חלקים שונים באזור הכרמל נעשה ע"י חוקרים שונים: קרץ' (1958) - צפון הכרמל; Vroman (1960) וקשאי (1966) - דרום-מערב ומזרח הכרמל; Arad (1965) - רמות מנשה; מיכלסון (1970) - שפלת חוף הכרמל; שש וחוברין (1977) - דרום-מערב הכרמל; בר (1988) - אזור רמת הנדיב-זיכרון יעקב; סנה וחוברין (1996) - צפון רמות מנשה ואזור זיכרון יעקב; סנה וחוברין (1998) - מפה כוללת של ישראל. באזור הכרמל נחשף טור סלעים ייחודי המייצג את סביבות ההשקעה של קצה הפלטפורמה הערבית. אזור זה מאופיין בשינויים מהירים של סביבות השקעה: ים פתוח, רצועת שוניות, ואגנים פנימיים, רדודים ובעלי קשר מוגבל אל הים נביין, 1974, 1982, Sass and Bein). מחברים אלה חיארו את המעברים הליטופציאליים, המבנה והרכב השוניות, אך הם לא נתנו מענה ליחסים הליטוסטרטיגרפיים, במיוחד לאלה שבין היחידות הקרבונטיות לבין היחידות הוולקניות, ולבעיות המבנה של הכרמל, אשר ביחד גרמו בעבר לבעיות רבות במיפוי. השינויים המהירים במפלס מי הים בתקופת הקנומן באזור הכרמל, נובעים מצרופ בין השינויים הגלובליים, הטקטוניקה המקומית והרמות ושקיעות שנבעו

מפאזות הפעילות הוולקנית שהתרחשו באותו הזמן (Sass, 1980). פועל יוצא מהשינויים המהירים במפלס הים הוא שינויים מחזוריים של סוגי מסלע החוזרים על עצמם.



איור 1. מפה גיאוגרפית של אזור הכרמל ועמק יזרעאל ועליה סימון גיליון עתלית 1:50,000 ותחנות הסיוור. מיפוי החדש נמשך גם לתחומי הגלילות השכנים.

המיפוי הנוכחי החל לאחר מחקר כרונוסטריגרפי באזור הכרמל ואום אל פחם שהתבסס על חיבור דיוגני. המחקר הראה קיומם של ארבע פאזות וולקניות בקומן ואחת בקמפאן (Segev et al., 2002). היחידות הוולקניות שהוגדרו (בעיקר טופים מסוגים שונים) מהוות סמנים מעולים בחלקים נרחבים מאזור העבודה ולכן הן שימשו כלי יעיל לקורלציות בין יחידות הסלע השונות (איור 2).

החתך הסטרטיגרפי (איור 2)

שינויי הפאצייס המהירים בכרמל, בשילוב עם העדר אופקים מנחים, גרמו בעבודות המיפוי הקודמות לטעויות בזהוי יחידות סלע שונות בעלות מאפיינים ליתולוגיים דומים ביותר. החלוקה הליתוסטרטיגרפית המוצעת עתה בכרמל נעזרת ביחידות מנחות של אופקים וולקניים בעלות גילים רדיומטריים אמינים. הקורלציה שנמצאה עם האופקים הוולקניים באזור אום אל פחם, והדמיון הליתוסטרטיגרפי בין אזור זה לבין אזור הגליל, יכולים לשמש כמכשיר לקורלציה סטרטיגרפית בכל צפון ישראל.

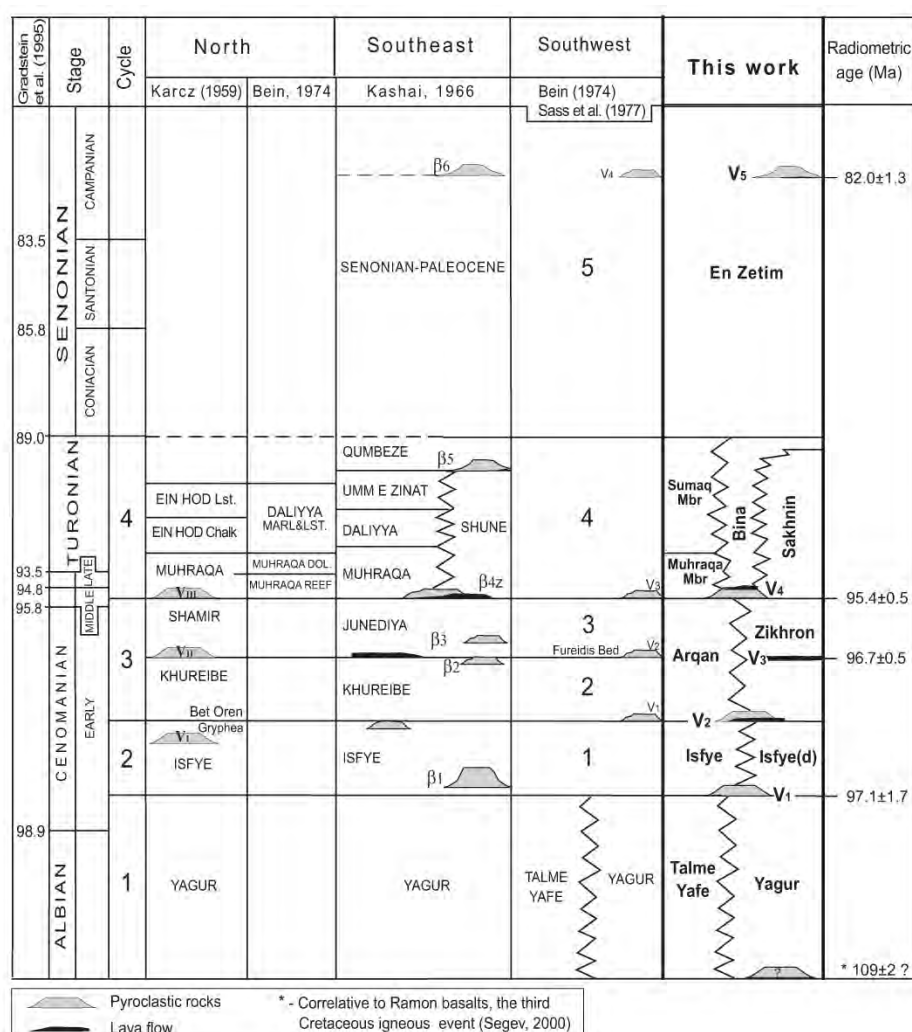
החתך החשוף של חבורת יהודה, מהאלביאן עד לטורון, נחלק לארבעה מחזורים סדימנטריים שגבולותיהם מוגדרים על ידי אופקים וולקניים, בדרך כלל טופים (איור 2). בתוך כל אחד ממחזורים אלה מופיעים שינויי ליתופאצייס אופייניים, המשקפים את התנאים המיוחדים ברצף הסביבות שבין הים הרדוד לבין הים הפתוח ואת התנאים המקומיים, כגון קרבה לשונית או להר געש. החתך יסקר מהמחזור הראשון, מתקופת האלביאן, המיוצג ב"חוד ע"י תצורת יגור ועד למחזור הרביעי, הקנומן-טורוני, המיוצג ע"י תצורות בינה וסכנין.

מחזור ראשון: תצורת יגור

מחשופי תצורת יגור במרבית שטח הכרמל נשלטים על ידי סלעי דולומיט, אם כי במקומות, כגון בכרם מהר"ל, מופיעות גם שכבות גיר. הסלעים הם אפורים-חומים, בעלי סטרוקטורה שכבתית הנעה בין למינרית, לוחית, ועד מסיבית, ובמקומות מכילים שרידים דלים של פאונה (Karzc, 1959; Folkman, 1969). במערב הכרמל חלים שינויי פאצייס ניכרים, המעידים על סביבות מעבר בין הפלטפורמה הרדודה לבין הים הפתוח. באזור נחל המערות נחשף קומפלקס שוניות מחסום הנשלט על ידי רודיסטים (בין, 1974; Bein, 1976; Ross, 1992; Sass and Bein, 1982). באזור זה ניתן לעקוב אחרי מעברי הפאצייס מהדולומיטים המשוכבים בגב השוניות, דרך גלעין השוניות (הדולומיטי בחלקו האחורי וגירי בחלקו הקדמי), ועד לטאלוס הגירי של השוניות כלפי הים הפתוח. בישוב פרדיס ובמחצבה שמצפון לו מופיעים סלעי גיר ביוקלסטי (נשמרכיבו נגזרו ככל הנראה מהשוניות הסמוכה). העובר לטרלית לסלעי גיר קרטוני וקרטון, מלווים בעדשות צור, המייצגים את המעבר משוניות המחסום לסביבות המדרון הימי והים הפתוח. מעברים אלה מייצגים את תחילת הפאצייס של תצורת תלמי יפה, הבנויה בחלקה הגדול מגירים ביוקלסטיים רכים אשר הורבזו על גבי מדף היבשת במפנה של ים פתוח (בין, 1974).

העובי הנחשף של תצורת יגור בצפון הכרמל הוא 380 מ' (קרץ, 1959). בקידוחים אליהו-4 מדרום לדלית אל-כרמל, ואשר-עתלית-1, ליד קיסריה, עובי התצורה הוא כ-405 מ'. מתחתיה נמצאה שכבת סלע פירוקלסטי מגיל אלביאן השייכת לאירוע המגמטי השלישי בקרטיקון (Segev, 2000, 2002). אירוע זה מוכר במכתש רמון ובבקעת תמנע וגילו נקבע בין 116.5 ± 3.4 מ.ש. לבין 108.8 ± 1.2 מ.ש. (Segev et al., 2005). מדידת $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של סלע מגמתי מוולקני אשר, בקידוח עתלית-1, נתנה גיל כינון מחדש של 109 ± 1.6 מ.ש. (Kohn et al., 1993; פירוש של Segev, 2000). מחזור יגור הסתיים כתוצאה מהתרוממות מקומית ואולי אף חשיפה

וארוזיה, ובעקבותיה השתפלות מהירה של מספר עשרות מטרים, אשר לוותה בפעילות הוולקנית הקונמינית הראשונה בכרמל.



איור 2. חתכים סכמאטיים של יחידות המיפוי בצפון ובדרום הכרמל, מוצגת החלוקה הנוכחית בהשוואה לחלוקות קודמות. כ-30 מ' בבסיס תצורת יגור אינם חשופים והמידע נלקח מקידוחים אליהו-1 ואשר-עתלית-1.

מחזור שני: תצורת עספיה

יחידות הליתופאציים הבונות את המחזור הסדימנטרי השני, עספיה, כוללות את תוצרי הפאזה הוולקנית הקונמינית הראשונה (V_1) ומסתיים בבסיס הפאזה הוולקנית השנייה (V_2). עובי השכית של המחזור הוא כ-60 מ' ובמרבית אזורי הכרמל הוא בנוי מקירטון, לעיתים עם צור. הסלעים הוולקניים של V_1 מורכבים מטופים, ומרכזי התפרצות זוהו בכרם מהר"ל, בקעת אלון ונחל רקפת (Sass, 1980). הגיל של פאזה וולקנית זו נקבע ע"י Segev et al. (2002) לקונמן המוקדם ביותר (97 ± 1.7 מ.ש.). העובי המירבי של הטופים סביב מרכזי ההתפרצות הוא כ-60 מ', ומציין משטח גידוע ימי של הרי הגעש. מעל משטחים אלה מופיעות שוניות מקומיות (כגון בכרם מהר"ל ובבקעת אלון), ומסביבן, על מורדות הרי הגעש, מוצאים סדימנטים ביוקלסטיים בשילוב עם הסדימנט הקרטוני השולט. בגג מחזור זה מצויה שכבה של גיר שוניתי (מאופיין בגריפאות), קשה, אשר כונה בעבר רובד ה"מלכה"

(קרץ, 1958; קשאי, 1966) או גיר בית אורן. בדרום הכרמל, לכיוון הים הרדוד, סלעי המחזור בנויים מגיר ביקלסטי ודולומיט ובגוש המוחרקה המחזור כולו בנוי מדולומיט בהופעה מצוקית.

מחזור שלישי: תצורות ערקן - זיכרון

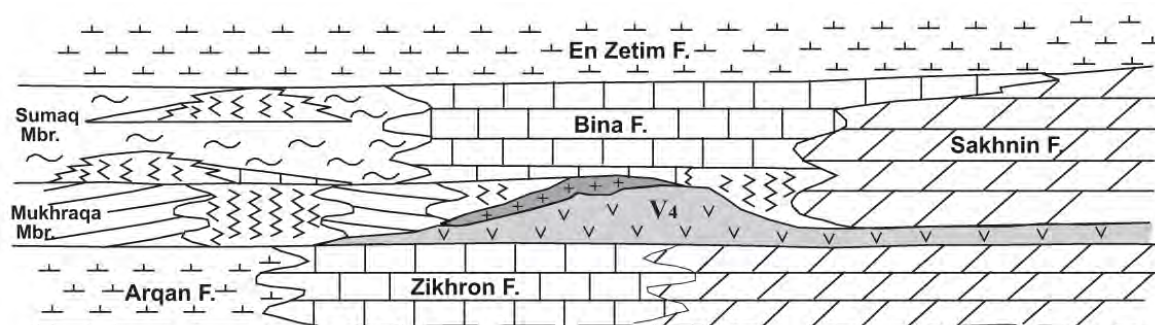
תצורת ערקן מוגדרת כאן לראשונה כיחידה הכוללת ומחליפה את תצורות חרייבה וג'ונדייה (או שמיר) בעבודות סטריגרפיות קודמות (קשאי, 1966; קרץ, 1958) (איור 2). הסיבה להגדרת קטע זה של החתך כתצורה אחת היא העדר גבול ברור ואחיד בין שתי היחידות שהוצעו בעבר. תצורה זו נחשפת במלואה (כ-140 מ') בציזו הצפוני של הר ערקן שמדרום לבקעת אלון, ובמקומות אחרים נחשפים קטעי חתך בלבד.

בצפון הכרמל, בין כרם מהר"ל לאזור בית אורן, התצורה בנויה בעיקר מקירטון, גיר קירטוני וגיר קשה אשר במקומות רבים מכילים עדשות צור. בבסיס המחזור רבדים הטופים של הפאזה הוולקנית הקנומנית השנייה (V2), אשר טרם תוארכה. טופים אלה נפוצים באזור חיפה, מוחרקה וזיכרון יעקב, כאשר מרכזי התפרצות זוהו באזור פרדיס, נחל רקפת-מוחרקה, טכניון וטירת הכרמל. סמוך למרכזי ההתפרצות עובי הטופים עד כ-60 מ', אך הוא מצטמצם למטרים בודדים עד שנעלם. בגוש המוחרקה נמצאו באופן זה גם זרמי לבה בזלתית. לעיתים נוכחות הטופים השאירה רק תחמוצות ברזל בסלעים שמתחת להם. בחלק התיכון של מחזור זה נמצאו זרמי בזלת באזור נחל רקפת-גוש המוחרקה בלבד. גילה של פאזה וולקנית זו (V3), אשר תוארכה בשיטת $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, הוא 96.7 ± 0.5 מ.ש. (Segev et al., 2002) בדרום מזרח הכרמל (אזור נחל רקפת) ובדרום מערב (אזור שפיה-זיכרון יעקב) יש שינוי פאצייס משמעותיים, המתבטאים בריבוי מרכיבים גיריים ודולומיטיים בחתך, ובמקומות בהם שולטים מרכיבים אלה היחידה האקוויולנטית לתצורת ערקן מוגדרת כתצורת זיכרון. בשני מקומות אלה קיימים מעברי פאצייס בתצורת זיכרון בין גיר בצפון לבין דולומיט כלפי דרום. בגבעת עדן, בצפון זיכרון יעקב, סלעי הפאצייס הדולומיטי מכילים שונות מצוררות. מאזור בית אורן וצפונה קיימים בחלק העליון של תצורת ערקן מעברי פאצייס להרכב גירי, במקומות שונים, עם מעברים לטריליים לדולומיט. הופעת השדה של סלעי פאצייס זה היא במקומות קשה ומצוקית (כגון באזור הנמצא מזרחה וצפונה לטירת הכרמל), ודומה להופעת תצורת מוחרקה של המחזור הרביעי. התכונה המיוחדת את סלעי הפאצייס הזה היא נוכחות עדשות צור וקורצוליט.

מחזור רביעי: תצורות בינה - סכנין (איור 2)

בגליל ובאזור אום אל פחם מוכרים יחסים ורטיקליים בין שתי התצורות (תצורת סכנין הדולומיטית ומעליה תצורת בינה הגירית) (Golani, 1961; Shadmon, 1959). בדרום הכרמל קיימים יחסים לטריליים, פאצייליים, בין שתי התצורות (תצורת בינה מצפון לנחל דליה, ליד שפיה, ותצורת סכנין מדרום, מזרחה לזיכרון יעקב). קביעת האקוויולנטיות בין שתי התצורות מסתמכת על קיום בסיס וגג מוגדרים היטב בשני האזורים שצינו. הופעת יחידה וולקנית מלמטה, והקירטונים של תצורת עין זיתים מלמעלה. במזרח ובמרכז הכרמל ניתן לחלק את תצורת בינה לשני פרטים: (א) פרט מוחרקה (בעבר גיר מוחרקה, קשאי, 1966) בבסיס, המכיל מעברי פאצייס בין גיר (גיר שונות וגיר ביקלסטי) לדולומיט (נעובי כ-60 מ'). (ב) פרט סומק (הגדרה חדשה) בחלק העליון, המורכב מחילופי גיר, חוואר, וקירטון, הגיר במקומות שונים, ובמקומות ביקלסטי או מיקרטי (נעובי כ-140 מ'). הגדרת פרט סומק

מחליפה את ההגדרות הקודמות של תצורות דליה (נקרטון עין הוד האקוויולנט), אום-זינאת וקומבזה (קשאי, 1966 ; קרץ, 1958).



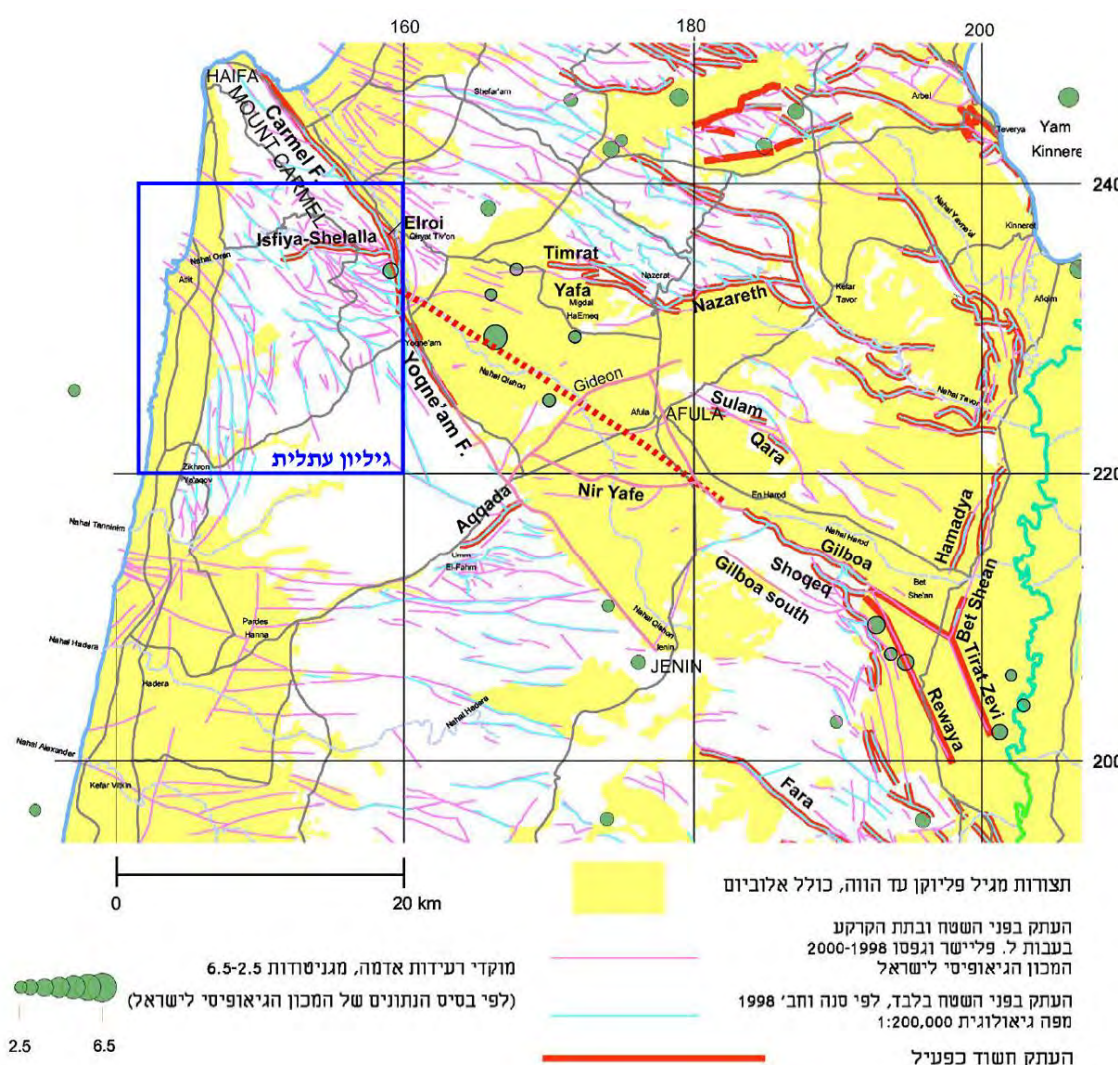
איור 3. יחסי ליחופאצייס במחזור הרביעי, מגיל קנומן עליון-טורון, בכרמל.

מבנה

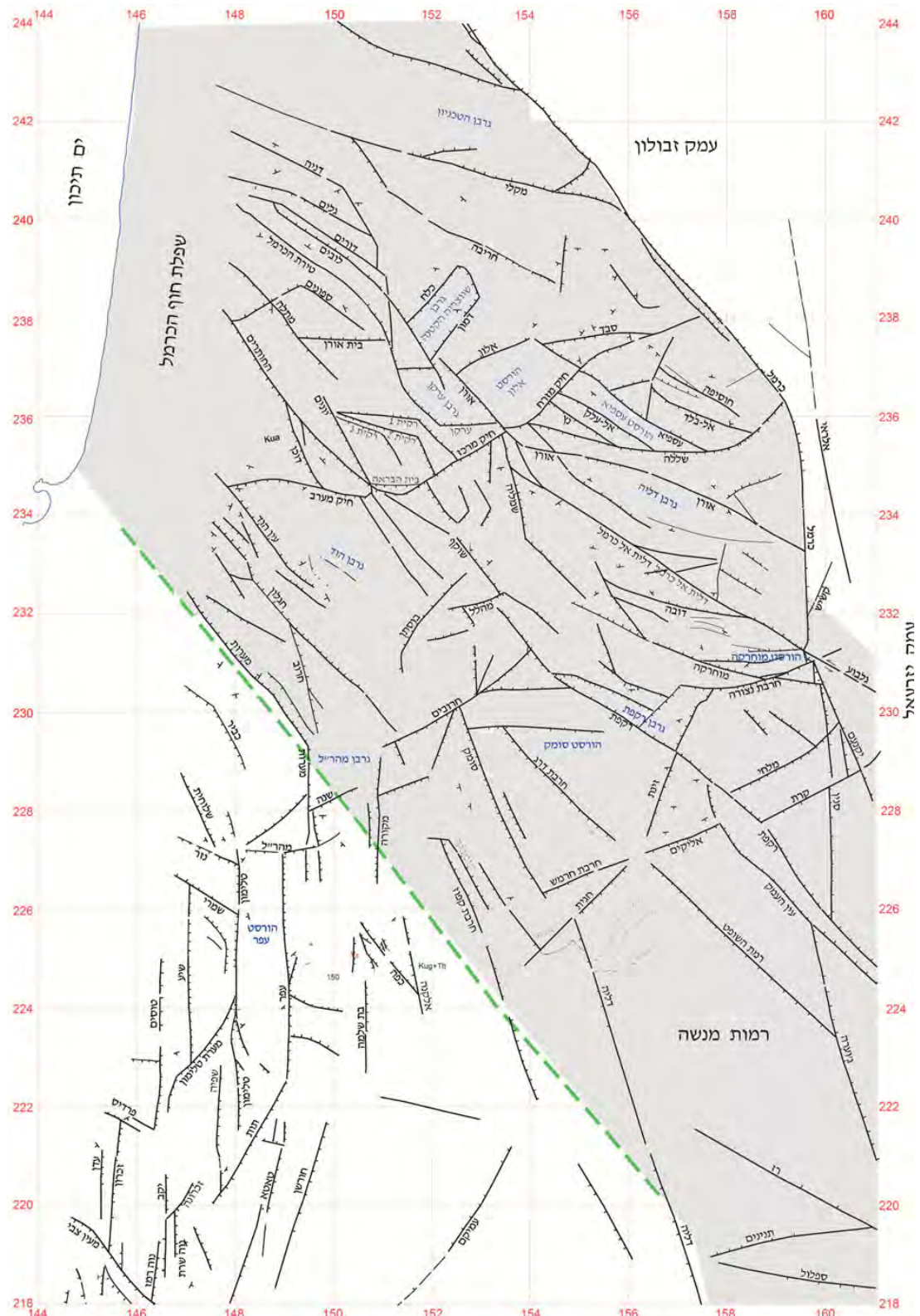
הפעילות הטקטונית אשר השפיעה על כל אזור הלבנט וכמובן גם על הכרמל קשורה להיווצרותם של קמטי הקשת הסורית. כיונם המקורב של צירי הקמטים בגליל הוא צפון-דרום (Krenkel, 1924; Picard, 1943). אירוע טקטוני בולט זה, הקשור לתהליכי סגירת אוקיאנוס הטחיס, החל סמוך לתקופת הסנון, בה גם פסקה הפעילות המגמתית הקרטיקונית באזור הכרמל. אזור רמות מנשה הוא חלק ממבנה סינקלינלי, שכיוון צירו צפון מזרח דרום מערב, אשר מרכזו שטוח למדי ואגפיו תלולים (עד כ-40°). האגף הדרומי עולה כלפי האנטיקלינה של אום אל פחם, מחוץ לאזור המחקר, ואילו האגף הצפוני עולה כלפי צפון לאזור כביש ואדי מילק והאזור האנטיקלינלי בונה למעשה את הר הכרמל. השיאים של גג חבורת יהודה במבנים האנטיקלינליים של הכרמל ושל אום אל פחם דומים מאוד (כ-800 מ' מעל פני הים) ואין ביניהם העתקה משמעותית. לעומת זאת אזור עמקי יזרעאל וזבולון הוא בקע עמוק נגד חבורת יהודה מגיע במקומות למטה מ-1,400 מ' המצוי לצידו של גוש הכרמל- אום אל פחם והוא נוצר כתוצאה ממתיחה.

העתק הכרמל נחלק למספר קטעים אשר על חלקם יש הסכמה נרחבת ועל אחרים הדעות חלוקות. מבחינת המינוח המקובל, העתק הכרמל, נקרא הקטע המרשים התוחם את הר הכרמל ממזרח, בין חיפה לבין יקנעם (העתק הגבול המזרחי לפי קרץ, 1958), ונקרא בעבר גם העתק יגור (איור 4). מחיפה לצומת העמקים כיוון ההעתק צפון מערב דרום מזרח ומצומת העמקים ליקנעם כיוונו משתנה לצפון-דרום. בשנים האחרונות מרבים להעביר את המשכו הדרום-מזרחי של העתק הכרמל מיקנעם לכיוון ואדי פרעה והוא כונה ע"י מספר חוקרים כקו השבירה כרמל-חירצה או כרמלפרעה (Nur and Ben Avraham, 1978 ; פליישר וגפסן, 1996 ; Hofstetter et al., 1996). גישה זו, המוצגת גם באיור 4, עשתה הפרדה ברורה בין העתק הכרמל לבין העתק הגלבוע כאשר האחרון פוצל לשני העתקים, בכיוון כללי לצפון מערב, אשר הסתיימו בהעתק גדעון החוצה את עמק יזרעאל לרוחבו.

שליב (1991) הצביע על אפשרות שיש המשך להעתק הגלבוע לכיוון צפון-מערב, מתחת לקרקעות עמק יזרעאל. במהלך המיפוי המפורט הנוכחי, נמצא שמערכת ההעתקים הראשיים באזור הכרמל יוצרת חגורת גזירה רחבה, בכיוון כללי מדרום-מזרח לצפון-מערב, המתחילה בדרום, בקו דמיוני בין דליה לנחל מערות (איור 5). הרחוב של חגורה זו עולה על 10 ק"מ והיא תחומה בצפון-מזרח ע"י העתק הכרמל. סמוך למרכז חגורת הגזירה נראה העתק ראשי משוער (גלבוע), העובר ממרכז עמק יזרעאל נסמוך לערוץ נחל קישון; איור 5) וחוצה את הר הכרמל (נהעתק דלית אל כרמל). נקודת המפגש בין העתק הגלבוע לבין העתק הכרמל היא גם הקודקוד שממנו מתרומם ההורסט של המוחרקה, התחום בין העתקי חרבת נצורה ודלית אל כרמל. אל אותה הנקודה מגיעים מדרום גם העתקי יקנעם וסנין. צמד העתקי רקפת ועין העמק באזור רמות מנשה הם תת-מקבילים להעתק הגלבוע.



איור 4. מפת העתקים חשודים כפעילים, נערכה ע"י ברטוב וחוברין (2002). מוצגת הפריסה המקובלת של ההעתקים בצפון ישראל ומוקדי רעידות אדמה. הקו המקווקו באדום, המחבר בין העתק הגלבוע לבין העתק הכרמל, מציינ את המשכו המשוער של העתק הגלבוע, מתחת לקרקעות עמק יזרעאל נאפשרות חלקית, דומה הוצגה ע"י שליב, 1991). נושא זה מצוי עתה במסגרת מחקר גיאופיסי נפרד.



איור 5. מפת העתקים (ראשונית) של מרכז ודרום הכרמל וכן חלק מרמות מנשה. הקו הירוק מסמן גבול סכמטי בין רצועת הגזירה העיקרית של הכרמל, מצפון, והבלוק של זיכרון יעקב בדרום-מערב.

העתק יקנעם נמצא במקום שהוצע בעבר, בעבודות אחדות, כהמשכו של העתק הכרמל לכיוון ואדי פרעה. העתק יקנעם מסתיים ליד קיבוץ משמר העמק ומעט מזרחה משם יש לקו זה קטע מקביל נוסף, המסתיים בהעתקים התוחמים את רכס היוגב (גדעון), החוצה את העמק לרוחבו. הזריקה האנכית על העתק יקנעם היא קטנה, ולא נמצא העתק רציף לדרום מזרח, אל כיוון ואדי פרעה, בשולי רמות מנשה. מערך ההעתקים במזרח הכרמל מצביע על כך שהעתק הגלבו, שהזריקה אנכית עליו היא כ-1,400 מ' (נחונים מהמפה של גג חבורת יהודה מפליישר וגפסו, 1998), נחשף מחדש סמוך לצומת התשבי ומתחבר להעתק הכרמל. במפגש זה ההעתק פונה לכיוון צפון וחוזר בצומת העמקים לכיוון הקודם שלו, לצפון-מערב. הזריקה האנכית על העתק הכרמל, באזור חיפה, כ-1,500 מ', דומה לזו של העתק הגלבו. ברור מיקומו של העתק הגלבו במרחב של עמק יזרעאל והכנת מודל להיווצרותו נעשים במסגרת מחקרים משלמים.

במתווה הנוכחי של ההעתקים, בהר הכרמל וסביבתו הקרובה, נראה שתנועה אופקית מוגבלת על העתק הגלבו ודלית אל כרמל גרמה לדחיפתו של גוש המוחרקה כלפי מעלה, אך לא נראה שנגרמה הרמה של כל הר הכרמל, כפי שהציעו מודלים אחדים בעבר (Rotstein et al., 1993, 2004). תכונה המאפיינת העתקים רבים במערכת הגזירה של הכרמל היא מציאותם של אזורי ריסוק רחבים (מטרים עד עשרות מטרים) הבנויים מברקציה. מערכת ההעתקים של שללה וחיק, בכיוון כללי מזרח-מערב, גרמו לירידה של הבולק הדרומי תוך היווצרותם של הגרבינים של זליה והוד. יתכן שקו העתקה זה קדם למערכת הכרמל-גלבו כיוון שהוא נראה מועתק על ידה. חלק ניכר מההעתקים אשר חוצים את הכרמל ממשיכים כפי הנראה אל מתחת לסדימנטים הצעירים של שפלת חוף הכרמל, וממשיכים גם מתחת למימי הים התיכון.

מערכת ההעתקים של אזור זיכרון יעקב - עופר שונה מזו של רצועת הגזירה של הכרמל ובעיקרה בנויה ממערכת העתקים בכיוון צפון-דרום (נעדן, זיכרון, נוה רמז, יקב, טווסים, שיע, עופר וכדומה; איור 6), המגדירה מבנים מאורכים התחומים מדרום ומצפון בשתי מערכות העתקה. מערכת אחת של העתקים לצפון-מזרח (מערת טלימון, תות, זכרונה, עמיקם וכד') והשנייה לצפון-מערב (מעין צבי, פרדיס, כפה, שמרי, נזר וכד').

ניתוח המנגנון של מוקדי רעידות האדמה לאורך מערכת ההעתקים של הכרמל הראתה מגמה דומה לזו שנמצאה על מערכת העתקים הראשית של בקע ים המלח (Hofstetter et al., 1996). מחברים אלה הראו שהמנגנון של מוקדי רעידות האדמה הוא בעל רכיב אופקי שולט ואילו ה-stress inversion מצביע על מערכת מאמצים ראשית אחידה לכל האזור בה יש רכיב מתיחה בכיוון NNE-SSW ורכיב לחיצה בכיוון WNW-ESE.

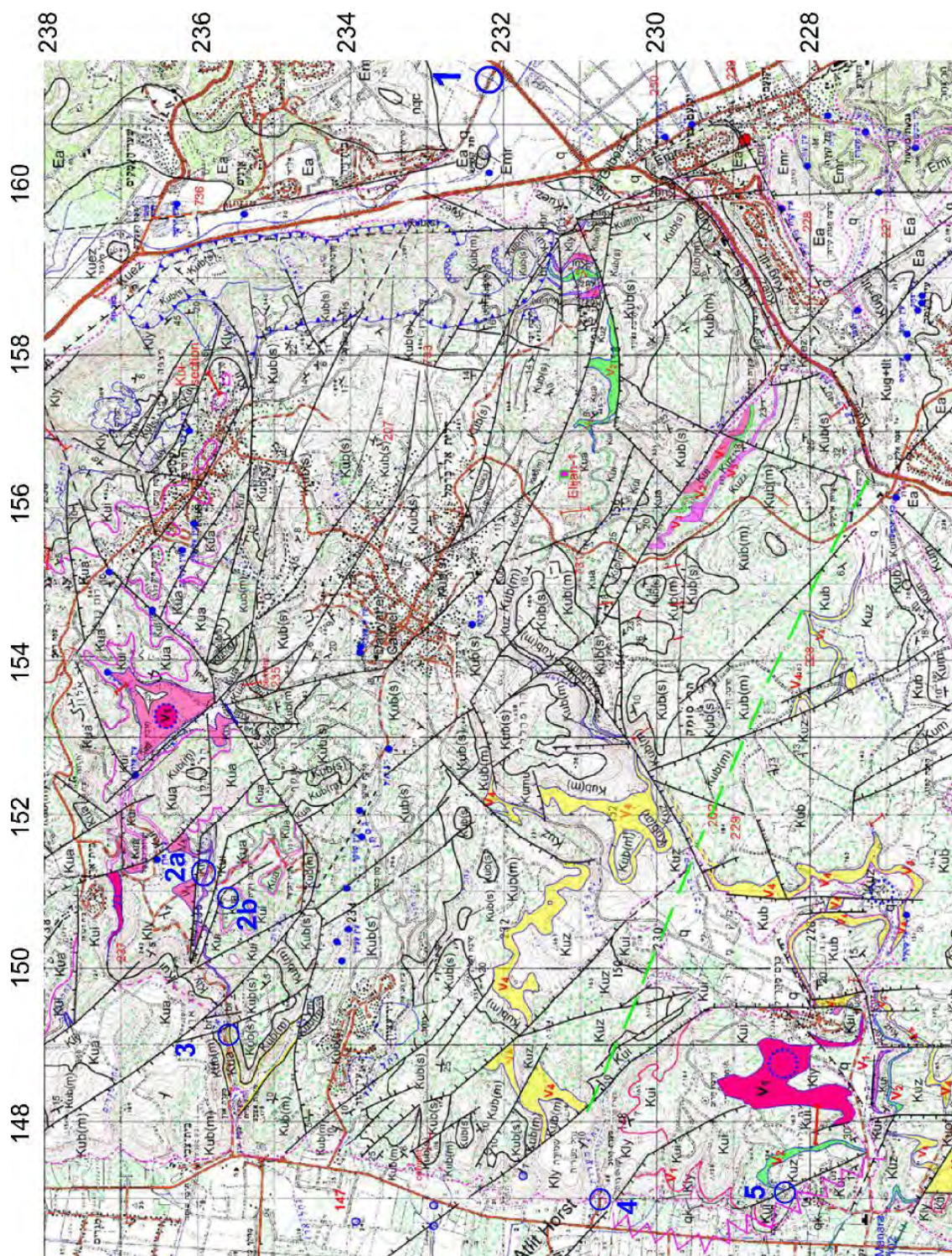
תחנה 1 – צומת כפר-יהושע

הסיוור ייצא מבית שאן, הסמוכה להר הגלבוע, שם ניתן להתרשם מהעתק הגלבוע, התחום את ההר מצפון וממשך לכיוון צפון-מערב. על פי המפה הסטרוקטורלית שנערכה על גג חבורת יהודה (פליישר וגפסו, 1998) הזריקה האנכית על העתק זה היא כ-1400 מ' (איור 4) ותחילתו בהעתקי השוליים המערביים של טרנספורם ים המלח.

ניסע לכיוון צומת מגידו ושם נפנה לצפון (איור 1). לכיוון יקנעם, אל צמת התשבי וימינה לכיוון הצומת לקרית-חרושת. סמוך לצומת נעצור ליד פסי רכבת העמק, לתצפית לכיוון מערב אל העתק הכרמל, התחום את הר הכרמל ממזרח. צפונית ליקנעם נוחת המבנה האנטיקלינלי של הכרמל אל הסינקלינה של רמות מנשה. החלק הגבוה של הר הכרמל בנוי מסלעי המחזור הרביעי, בעיקר טורוני, מתצורת בינה המחולקת לפרט מוחרקה בבסיס (גיר ודולומיט קשים) ופרט סומק מעל (גיר וחואר). מנזר המוחרקה נמצא על מבנה הורסט המוחרקה (נג. 475 מ'), התחום מצפון ע"י העתק בכיוון לצפון מערב (דלית אל כרמל, איור 5) ומדרומו ע"י העתק בכיוון למזרח (חרבת נצורה). בבסיס הורסט המוחרקה נמצא החלק העליון של מחזור הסדימנטציה הראשון (יגור, איור 2), מגיל אלביאן, הבנוי בעיקר מדולומיט משוכב. מעל מחזור יגור נמצאת שכבת טוף של הפאזה הוולקנית הראשונה (V_1) ומעליה מחזור שני (עספיה). טוף ובזלת מ- V_2 , מחזור שלישי (ניכרון) ובתוכו בזלת (V_3). בגג הבזלת רבז פרט מוחרקה מהמחזור הרביעי (בינה). בחתך זה סלעי כל המחזורים הרכבם דולומיט. צפונית להורסט המוחרקה כל מתלול הכרמל בנוי מגושים של תצורת בינה ביחסים לא רגולריים. קטע זה עדיין לא מופה בפירוט, אך בחינה ראשונית שלו מצביעה על כך שהוא בנוי בייחוד מגושים גלויים. אכמון (1986) העביר העתקים בין גושים אלה, שחלקם הגדיר כ"מנותקים".

העתקי דלית אל כרמל וחרבת נצורה, התחומים את הורסט המוחרקה, מצטלבים לרגליו (איור 5) ולנקודה זו מגיעים גם העתקים נוספים: כרמל, יקנעם וסנין. אל הורסט המוחרקה, בהמשך להעתק דלית אל כרמל, מגיע העתק היוצא מעמק יזרעאל וכיוונו לצפון מערב. על פי יחסי השדה נראה שהעתק הגלבוע חוצה את עמק יזרעאל (מוסתר שם ע"י כיסוי קרקע עבה; איור 4) ומגיע משם אל הורסט המוחרקה. לרגלי הכרמל העתק הגלבוע מוסט לצפון, כהעתק הכרמל, ופונה אח"כ בצומת העמקים לצפון-מערב. שאר ההעתקים המשניים יוצרים את מערכת הגזירה העיקרית החוצה את הר הכרמל כולו בכיוון ראשי לצפון-מערב, אל הים התיכון.

הגוש הצפוני ביותר הנראה בתחנה 1, עליו בנוי הישוב עספיה, נמצא צפונית להעתק שללה שכיוונו הכללי מזרח מערב. הגוש הצפוני מורם ונחשפים בו בעיקר המחזורים התחתונים, יגור ועספיה. העתק שללה וההמשך שלו העתק חיק נראים מוסטים ע"י מערכת ההעתקים לצפון-מערב ולכן הם קדומים יותר.



6. מפה גיאולוגית ראשונית (בעבודה) של מרכז הר הכרמל, סימון היחידות כפי שמוצג באיור 2. בעיגולים כחולים פתוחים מסומנות תחנות הסוּר מ-1 עד 5.

תחנה 2 – הכביש לבית הבראה יערות הכרמל

2a – נסיעה מיקנעם לצומת אליקים ומשם ימינה לכיוון דלית אל כרמל, עספיה וצומת דמון, בצומת זו פונים שמאלה לכיוון בית אורן ממשיכים עד לפנייה שמאלה לכביש הכניסה לבית ההבראה יערות הכרמל.

כ-1 ק"מ מהצומת עוצרים סמוך לגג תצורת יגור. לאורך הדרך אפשר לעקוב אחרי המפה הגיאולוגית נאיר 6].

מתחנה 2 יש תצפית רחבה אל הבלוק שמצפון להעתק שללה וחק מרכז. נחל בית אורן מתפתל מצפון וחושף כ-150 מ' חתך של החלק העליון של תצורת יגור. בדומה לאזור יגור גם כאן התצורה בנויה מדולומיטים משוככים. בגג התצורה נראה תבליט המכוסה בשכבות טוף של הפאזה הוולקנית הקנומנית הראשונה (V₁). תבליט זה מעיד על הרדדה של האזור וגידוע חלקי בטרם התפרץ הר הגעש המצוי בבקעת אלון הסמוכה. עובי יחידת הטוף מגיע לכ-60 מ' בבקעת אלון והוא מתדקק בהדרגה עד שנעלם כ-3 ק"מ מבקעת אלון. העובדה שהטופים שקעו בים (Sass, 1980). בהתפרצות מהירה, יחד עם העובי שהשתמר מעידים כי עומק הים באזור זה היה כ-60 מ'. בתחנה זו נתמקד בסלעי המחזור השני (עספיה). אותם נציג בהמשך. אך ניתן לראות גם את חתך סלעי המחזור השלישי (ערקן-זיכרון) באזור הר ערקן. בהר זה, דרומית לבקעת אלון, נמצא חתך מלא של המחזור השלישי בעובי של כ-140 מ'. החתך בנוי מקירטון, קירטון גירי וגיר המאופיינים בנוכחות תרכיזי צור.

חתך הכביש חושף את המגע בין תצורת יגור לבין שכבת הטוף (V₁) ובהמשך המגע עם בסיס תצורת עספיה הנחשפת היטב בעיקול של הכביש. במקום זה החלק התחתון של מחזור עספיה הוא בפאציס קירטוני ומעליו רבוד גיר בית אורן, או הקומפלקס של הגריפאה והמלכה, אותו נראה בהמשך באתר 2b.

2b – נוסעים כ-700 מ' לדרום-מערב, על דרך עפר, על גבי הקירטון של תצ' עספיה. יורדים והולכים כ-300 מ' למערב, למגע בין הקירטון לבין גיר השוניות של בית אורן. ליד הדרך נמצאים גושי גיר שוניות שעבר צירור ומכיל גם עורקי קורץ. במחשוף זה עובי היחידה הגירית כ-25 מ', בדומה למחצבות קדומים שליד הכביש העולה לבית אורן. לפי בין (1974), מחשוף זה נמצא בפאציס רודיסט-קלקארניט שבמרכז הקומפלקס של הגריפאה והמלכה.

מהמחשוף האחרון נחזור לכיוון הרכב ונלך מספר עשרות מטרים לכיוון מערב, היכן שהדרך חוצה את גג שכבת גיר השוניות. במחשוף זה עובי גיר בית אורן מצטמצם עד לכ-2 מ' בלבד ומעליו רבודה שכבה של טוף מהפאזה הוולקנית השנייה (V₂). השינוי המהיר בעובי הגיר יחד עם סימני התחתרות בגגו מצביעים על שלב ארוזיבי שקדם להרבדת הטוף. במחשוף זה נראה תחמוצות ברזל אדומות הצובעות את גג הגיר ומסמנות את נוכחות הטוף גם במחשופים בהם לא רואים אותו עקב ארוזיה קדומה או עכשווית.

תחנה 3 – כביש נחל אורן, סמוך לצומת אורן

חוזרים לכביש היורד מבית אורן לצומת אורן. מצד שמאל של הרכב נראים דרגשי הדולומיט של תצורת יגור. אחרי עיקולי הכביש מגיעים לאזור גזירה רחב ואינטנסיבי המגיע עד להעתק גדול (החותרים) עליו ירד הגוש המערבי וכתוצאה מכך עוברים בנסיעה מערבה לסלעי המחזור השלישי (ערקן-זיכרון). אזור הגזירה מאופיין בברקציות מאוד מרשימות ברוחב של עשרות מטרים ויותר. מערבה לאזור הגזירה חוצים את חלקה

העליון של תצורת ערקן הבנויה בייחוד מקירטון גירי עשיר בעדשות צור. בתצפית לכיוון הגדה הצפונית של נחל אורן נראה את המגע בין תצורת ערקן בבסיס, בעלת מורפולוגיה רכה יותר, ומעליה מצוק של גיר שוניות השייך לבסיס המחזור הרביעי (פרט מוחרקה מתצורת בינה). גיר שוניות זה מוכר היטב מאזור המחצבה של נחל ספונים, דרומית לטירת הכרמל. דוגמאות סלע שוניתי נמצאות מפוזרות על הדרך בה נלך.

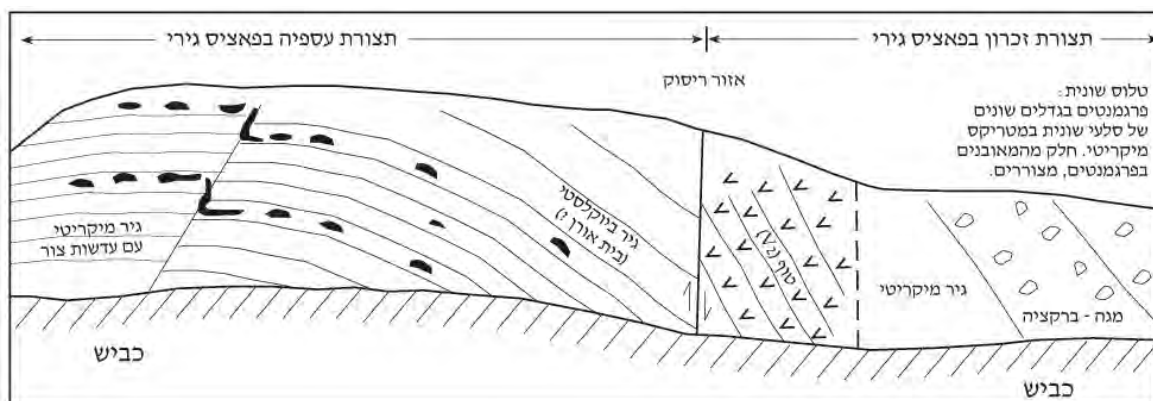
מעל הדרך, הסלולה בגדה הדרומית של נחל אורן, נמצאים גושים נפולים מאזור המגע בין תצורות ערקן ובינה ובהם ניתן להבחין בטוף צהוב מהפאזה הוולקנית הרביעית (V_4). בין (1974) דיווח על טופים אלה עד לקידוחים מאזור עין הוד, והממצא הנוכחי מרחיב את תפוצת הטופים אף יותר צפונה. מרכזי ההתפרצות הידועים, הקרובים ביותר למחשוף זה הם במקורה ועופר, כ-8 ק"מ דרומית לתחנה זו.

תחנה 4 – שמורת נחל מערות (תצפית)

ממשיכים לצומת אורן ופונים דרומה לכיוון נחל מערות. ברחבה של אזור השמורה נצפה למרחק אל שוניות המחסום (בין, 1974; Sass and Bein, 1982; Ross, 1992) מהמחזור הראשון של יגור. שוניות זו, שכל רוחבה הוא כ-200 מ', מפרידה בין האזור הנרחב של הפלטפורמה הדולומיטית ממזרח לה, לבין הסדימנטים הגיריים-קרטוניים של מדרון היבשת והים הפתוח. מדרום למחשוף השוניות זוהה אופק דק של טוף (V_5) במגע בין תצורות יגור ועספיה שמקורו בהר הגעש של כרם מהר"ל, הסמוך (כ-2 ק"מ).

תחנה 5 – מרכז קהילתי אזורי סמוך לצומת עופר (איור 7)

כ-3 ק"מ דרומית מתחנה 4 יורדים מהכביש לכיוון מזרח על כביש העולה למצפור עופר. בחתך הכביש (ממערב למזרח) נגלית תצורת עספיה בפאצייס גירי. הגיר הוא מיקריטי, בעל שכבתיות דקה ומכיל תרכיזי צור המתעוועות ונמשכים לאורך סדקים והעתקים קטנים, דבר המעיד על התפתחות מערכת סידוק בשלב דיאגנטי מוקדם. מעל לגיר זה רבוד גיר שונה המורכב משברי מאובני שוניות, ויתכן שהוא שייך לקומפלקס של הגריפאה והמלכה (גיר בית אורן). במקום זה עובר העתק (העתק שלוחית) הגודע את החלק העליון של תצורת עספיה ומוריד את הגוש המזרחי. מעבר להעתק נמצאת שכבת טוף V_2 בנטייה חזקה מזרחה, ומעליה סלעי הבסיס של תצורת זיכרון (מחזור שלישי). סלעים אלה הם מגה-ברקציה, ומורכבים ממטריקס של גיר מיקריטי המכיל פרגמנטים גדולים וקטנים של סלעי שוניות. חלקם הגדול של שלדי המאובנים (רוזיסטים וכונדרוזונטה) עבר צרור המשמר את מבנה המאובנים באופן מושלם. הופעת המגה-ברקציה מוסברת כטאלוס של שוניות, הנמצא בחלקו התחתון של מדרון, והוא מכיל תערובת של סדימנט בוצי ושברים אלוכתוניים שמקורם בשוניות סמוכה. הופעת מאובני השוניות המצוררים (קוורצוליטים) מצביעה על צרור דיאגנטי מוקדם, אשר התרחש לפני שבירת סלעי השוניות ודרדרם במורד.



איור 7. חתך סכימטי לאורך הכביש בתחנה 5, מבט לכיוון צפון.

תחנה 6 - מחצבת מפעלי סיד מאוחדים

באתר של מחפורת ישנה החלק העליון של מחזור יגור בנוי מביו-קלקארניט המקבל מופע מצוקי של "מלכה" ומכיל עדשות קוורצוליט בקוטר של כ-1 מ'. כלפי דרום, לפרדים, מעל לשכבת המלכה נראה אופק של טוף מהפאזה הראשונה (V_1) שעוביו משתנה ומגיע עד כ-1 מ', ומעליו גיר קירטוני מבסיס המחזור של עספיה.

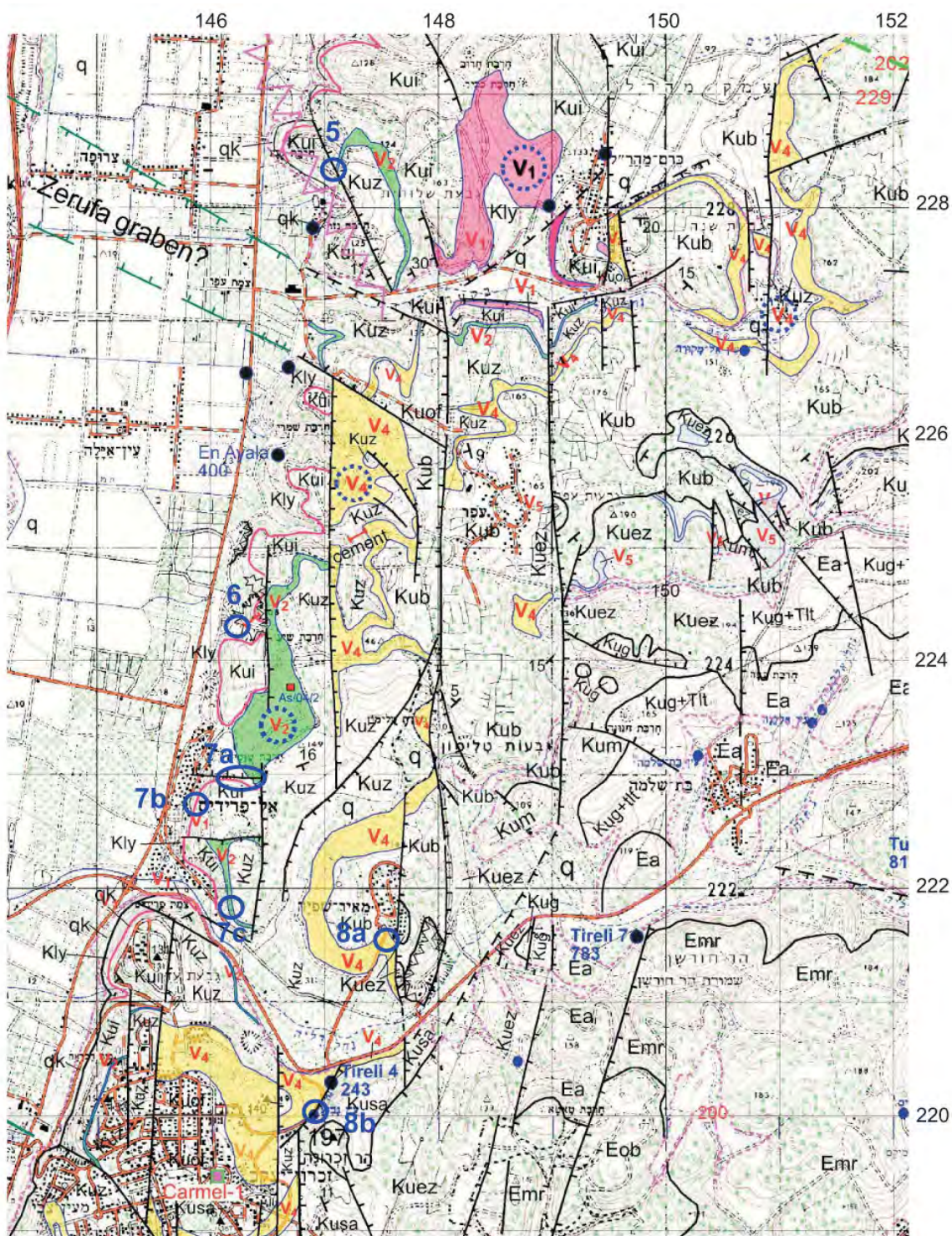
כ-200 מ' צפונה, במחצבה הפעילה, נחשף חתך של גיר קירטוני (קלציליטיט) המכיל במקומות עדשות צור גדולות (מספר עשרות ס"מ) וכהות. סלעים אלה מהווים את פאציס הים הפתוח של המחזור הראשון (תצורת תלמי יפה).

תחנה 7 - פרדים

בפרדים מופיעים קטעי החתך שבין גג תצורת יגור לבין תצורת זיכרון, המדגימים את סביבות ההשקעה ואת המאפיינים של היחידות הוולקניות.

7a - בתצפית כלפי צפון בולט מטע האבוקדו, הנטוע בחוף לוע של הר הגעש טווסים, השייך לפאזה הוולקנית השנייה (V_2). העתק טווסים, בכיוון צפון-דרום, עובר דרך הלוע של טווסים ומוריד את הגוש המזרחי (תצורת זיכרון) מול תצורות יגור ועספיה. העתק זה הוא אחד ממספר העתקים מקבילים המאפיינים את אזור זיכרון יעקב-עופר נעדן, זיכרון, שיע, טלימון ועופר; איורים 5, 8) ובמרכזם ההורסט של עופר.

7b - במעלה הישוב פרדים מופיע קטע החתך, בין החלק העליון של תצורת יגור (ה"מלכה") לבין בסיס תצורת עספיה (קרטון וגיר), וביניהם הטוף של V_1 . טוף זה הוא בעל עובי משתנה עד כדי מטר, ומצטבר בשקעים ארוזיביים בגג תצורת יגור.



איור 8. מפה גיאולוגית ראשונית (בעבודה) של דרום-מערב הר הכרמל. סימון היחידות כפי שמוצג באיור 2. בעיגולים כחולים פתוחים מסומנות תחנות הסיור מ-5 עד 7. בחפירה של בתים חדשים נראה המגע בין החלק העליון של תצורת יגור נגיר ביוקלסטי "מלכה" לבין בסיס תצורת עספיה (קרטון וגיר). וביניהם הטוף של V₁. בהמשך הכביש נחשף הטוף של V₂ מועתק מול גיר תצורת זיכרון ע"י העתק טווסים.

7c - בדרום פרדיס מופיעה שכבה עבה של טוף V_2 בין התצורות עספיה וזיכרון. מקור טוף זה הוא בהר הגעש של טווסים, עליו צפינו בתחנה 7a.

תחנה 8 -הר הגעש של שפיה

באזור הנמצא בין זיכרון יעקב לשפיה מופיעה בקעה בנחל דליה (נכביש ואדי מילק) המהווה תוצאה של התחתרות אופקית בסלעי טוף עבים ורכים. טוף עבה זה שייך לפאזה הוולקנית הרביעית (V_4), המיוצגת כאן על ידי הר הגעש של שפיה. מעל הסלעים הוולקניים מונחים סלעי התצורות האקוויולנטיות בינה וסכנין.

8a - בתצפית מהעליה למאיר-שפיה רואים את השתרעות הטופים של V_4 , בעובי המגיע עד כדי 60 מ', משני צידי הבקעה. מרכז הר געש זה הוא בתוך הבקעה, מסקנה המבוססת על נטיות הטופים (Sass, 1980), ומהופעת סלעים וולקניים (בייחוד בזלת) בעובי של כ-200 מ' בקידוח טירלי-4, שנעשה ליד צומת הכביש העולה לזיכרון יעקב. במקום זה קיים מחשוף של טופים מגוונים ומעליהם בזלת וזיקולרית ואמיגדלואידלית. החתך הוולקני מכוסה בסלעי גיר, ומעט דולומיט, של המחזור הרביעי (תצורת בינה), בעובי של כ-60 מ'.

8b - תחנה זו נמצאת ברחבה שליד עין גביע, מעל צומת הכבישים, מצידה הדרומי של בקעת נחל דליה בסמוך לכביש העולה לזיכרון יעקב. בצומת עצמו מופיעים טופים מגוונים של V_4 שאינם מכוסים בבזלת. במקום זה מופיעה מעל הטופים תצורת סכנין הדולומיטית, דבר המשמש עדות למצב הסטריטיגרפי האקוויולנטי ולשינוי הפאצייס בין תצורת בינה לבין תצורת סכנין. זו מופיעה כאן במלואה בעובי של כ-100 מ' ומעליה תצורת עין זיתים הקרטונית. העובי השכיח של תצורת סכנין הוא כ-200 מ', ונראה כי הסיבה לעובי המופחת כאן היא נוכחות החתך הוולקני מתחתיה. החלק העליון של תצורת סכנין הוא גירי, ומזכיר את תצורת בינה, בהגדרתה המקורית, בגליל ובאום אל פחם.

מקורות

- אכמון, מ., 1986. שבר הגבול של הכרמל בין יקנעם לנשר. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים, 54 ע'.
- בין, ע., 1974. התפתחות שוניות בחבורת יהודה, בכרמל ובשפלת החוף, ישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים, (תקציר באנגלית), 154 ע'.
- בר, י., 1988. הגיאולוגיה של רמת הנדיב (הכרמל הדרומי). החב' להגנת הטבע ויד הנדיב, 48 ע'.
- ברטוב, י., סנה, ע., פליישר, ל., ארד, א. ו. ורוזנופט, מ., 2002. ההעתקים החשודים כפעילים בישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח מס' GSI/29/2002.
- מיכלסון, ח., 1970. הגיאולוגיה של חוף הכרמל. תה"ל, דו"ח HG/70/025, 61 ע'.
- סנה, ע., שש, א., בין, ע., ארד, א. ורוזנופט, מ., 1996. מפה גיאולוגית של ישראל 1:50,000, גיליון I-5, חדרה. המכון הגיאולוגי.
- פליישר, ל. וגפסו, ר., 1998. גג חבורת יהודה – המפה הסטרוקטוראלית, דיגיטאלית של ישראל, שלב שני. המכון הגיאופיזי הישראלי, דו"ח מס' 873/68/98.
- קרץ, י., 1958. גיאולוגיה של הכרמל הצפוני מערבי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים, 27 ע'.
- קשאי, א., 1966. הגיאולוגיה של הכרמל המזרחי והדרום-מערבי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים, (תקציר באנגלית), 114 ע'.
- שליב, ג., 1991. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של האגן הנאוגני בגליל התחתון ובעמקים. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/11/91, 94 ע'.
- שש, א., בין, ע., ארקין, י. וברטוב, י., 1977. מפה פוטוגיאולוגית, 1:10,000, גיליון 145-220 (זיכרון יעקב). המכון הגיאולוגי.

- Arad, A., 1965. Geological outline of the Ramot Menashe region (northern Israel). *Isr. J. Earth Sci.*, 14, 18–32.
- Ball, M.W. and Ball, D., 1953. Oil prospects of Israel. *Econ. News*, 5(7–8), 19–37.
- Bentor, Y.K. and Vroman, A.J., 1954. A structural contour map of Israel (1:250,000) with remarks on its dynamical interpretation. *Isr. Geol. Surv., Bull.* 7, 11 p.
- Blake, G.S., 1928. *Geology and water resources of Palestine*. Jerusalem, Gov. Rep., 51 p.
- Blake, G.S., 1936. *The stratigraphy of Palestine and its building stones*. Jerusalem, Print. & Stationery Office, 133 p.
- Blake, G.S., 1939. *Geological map of Palestine, scale 1:250,000 (north sheet)*. Jerusalem, Palestine Surv. Map.

- Brew, G. E., Litak, R. K., Barazangi, M., Sawaf, T. and Zaza, T., 1999. Tectonic evolution of northeast Syria: Regional implications and hydrocarbon prospects. *GeoArabia* 4, 289–318.
- Fleischer, L. and Gafsou, R., 2003. Structural map on top Judea Group. Geophy. Inst. Isr. Map, 753/312/2003.
- Fohs, F.J., 1927. Geology and the petroleum and natural gas possibilities of Palestine and Sinaitic Peninsula. *Am. Assoc. Pet. Geol., Bull.*, 11(2), 135–149.
- Folkman, Y., 1969. Diagenetic dedolomitization in the Albian – Cenomanian Yagur dolomite on Mount Carmel (northern Israel). *J. Sediment. Petrol.*, 39, 380–385.
- Freund, R., 1961. Distribution of Lower Turonian ammonites in Israel and the neighbouring countries. *Isr. Res. Council., Bull.*, 10G(1–2), 79–100.
- Freund, R., 1965. Upper Cretaceous reefs in northern Israel. *Isr. J. Earth Sci.*, 14, 108–121.
- Hull, E., 1886. The survey of western Palestine. Memoir on the geology and geography of Arabia Petraea, Palestine and adjoining districts, with special reference to the mode of formation of the Jordan – Arabah depression and the Dead Sea. London, Richard Bentley & Son, 154 p.
- Karcz, I., 1959. The structure of the northern Carmel. *Isr. Res. Council. Bull.*, 8G (2–3), 119–130.
- Krenkel, E., 1924. Der Syrische Bogen. *Zentralblatt Mineralogie* 9, 274–281.
- Lartet, L., 1869. Essai sur la geologie de la Palestine et des contrees avoisinantes, telles que l'egypte et l'arabie, comprenant les observations recueillies dans le cours de l'expedition du duc de luynes a la mer morte. *Bibl. Ecole hautes etud. Sci. Natur.*, Paris, 2(1), 5–296.
- Noetling, 1886. Entwurf einer Gliederung der Kreideformation in Syrien und Palaestina. *Dtsch. Geol. Ges., Z.*, 38, 824–873.
- Picard, L., 1926. Sur le Cenomanien du Carmel (sud-est D'haifa). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 183, 895–898.
- Picard, L., 1928. Zur geologie der Kischonebene. *Z. Dtsch. Palaestina Ver.*, 51, 5–72.
- Picard, L., 1943. Structure and evolution of Palestine with comparative notes on neighboring countries. *Hebrew Univ. Jerusalem, Bull.* 4, 134 p.

- Picard, L. and Kashai, E., 1958. On the lithostratigraphy and tectonics of the Carmel. *Isr. Res. Counc., Bull.*, 7G(1), 1–19.
- Ron, H., Freund, R., Garfunkel, Z. and Nur, A., 1984. Block rotation by strike-slip faulting: structural and paleomagnetic evidence. *J. Geophys. Res.* 89, (B7), 6256–6270.
- Ron, H., Nur, A., and Eyal, Y., 1990. Multiple strike-slip fault sets: a case study from the Dead Sea Transform. *Tectonics*, 9(6), 1421–1431.
- Ross, D.J., 1992. Sedimentology and depositional profile of a mid-Cretaceous shelf edge rudist reef complex, Nahal Ha'mearot, northwestern Israel. *Sediment. Geol.*, 79, 161–172.
- Rotstein, Y., Bruner, I., Kafri, U., 1993. High resolution seismic reflection imaging of the Carmel fault zone and its implications to the structure of Mt. Carmel. *Isr. J. Earth Sci.* 42, 55–69.
- Rotstein, Y., Shaliv, G. and Rybakov, M., 2004. Active tectonics of the Yizre'el Valley, Israel, using high-resolution seismic reflection data. *Tectonophysics* 382, 31–50.
- Sass, E. and Bein, A., 1982. The Cretaceous carbonate platform in Israel. *Cretaceous Res.*, 3(1/2), 135–144.
- Segev, A., 2000. Synchronous magmatic cycles during the fragmentation of Gondwana: radiometric ages from the Levant and other provinces. *Tectonophysics* 325, 257–277.
- Segev, A., 2002. Flood basalts, continental breakup and the dispersal of Gondwana: Evidence for periodic migration of upwelling mantle flows (plumes). *Europ. Geosc. Uni., Stephan Mueller Spec. Publ. Ser. 2*, 171–191.
- Segev, A., Sass, E., Ron, H., Lang B., Kolodny, Y. and McWilliams, M., 2002. Stratigraphic, geochronologic and paleomagnetic constraints on late Cretaceous volcanism in northern Israel. *Isr. J. Earth Sci.* 51(3–4), 297–309.
- Sneh, A., Bartov, Y. and Rosensaft, M., 1998. Geological map of Israel, 1:200,000 – Sheet 1. *Isr. Geol. Surv. Map*.
- Vroman, A.J., 1938. Geology of the region of the south-western Carmel. Ph.D. thesis, Utrecht Univ.
- Vroman, A.J., 1960. Note on rock units of Mount Carmel, Israel. *Isr. Geol. Surv., Bull.* 27, 4 p.

דייקים, התפרצויות וולקניות, ומערכות שבירה בגליל התחתון

גדעון בר

המכון הגיאולוגי, ירושלים

אמוץ עגנון

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, ירושלים

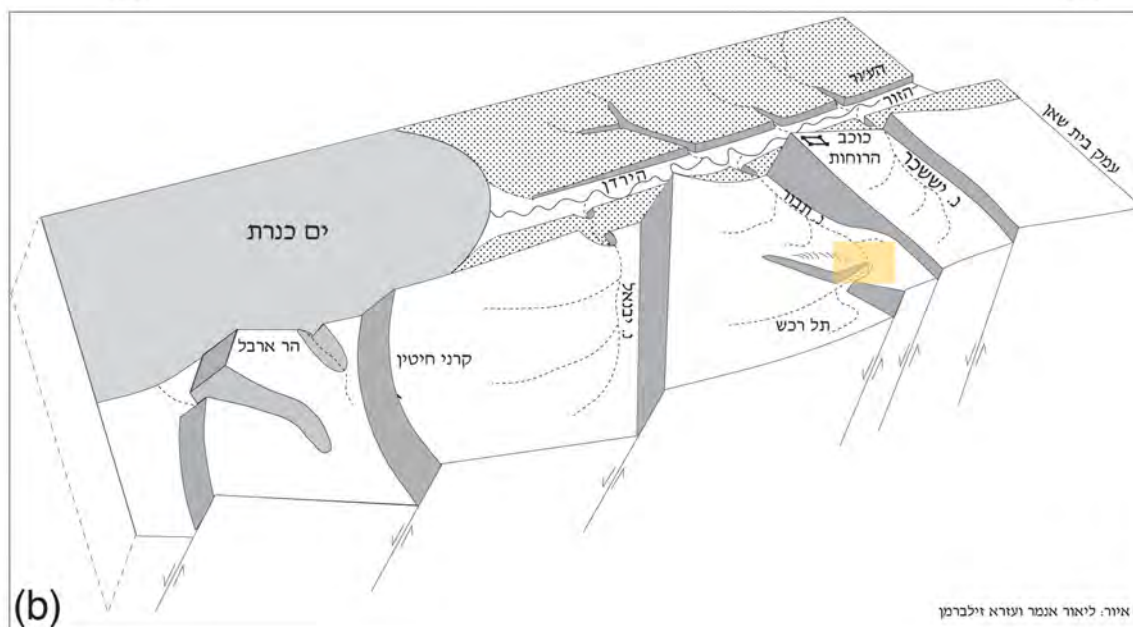
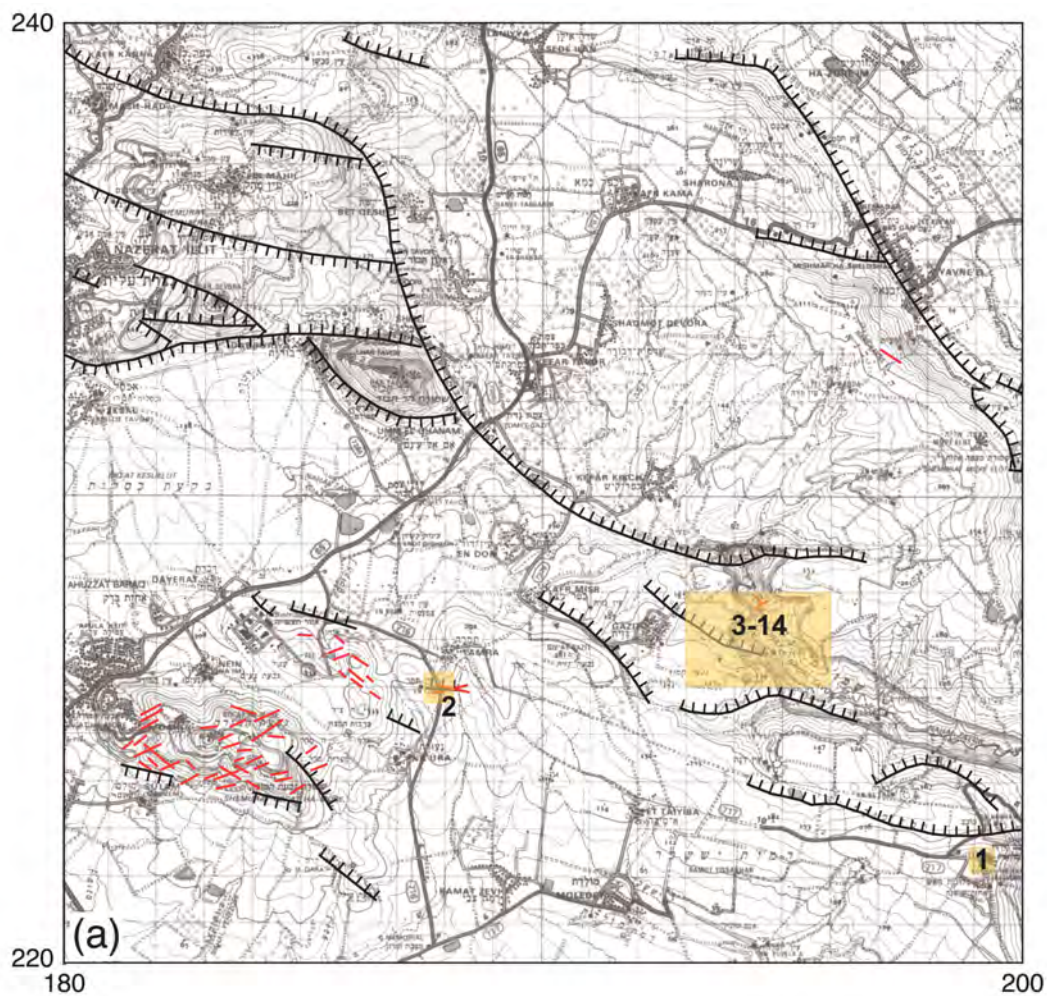
הקדמה

ההתחתרות העמוקה של נחל תבור התיכון ויובליו, ומחשופים מלאכותיים בצידי כבישים, מאפשרים התבוננות ייחודית במגוון רחב של תופעות סטרוקטורליות, וולקניות, וסדימנטריות, אלה בצד אלה. בסיור זה אנו מתמקדים באזור מצומצם יחסית, בו נחשף כמעט במלואו אחד הלועות הוולקניים המיוקניים הבודדים בגליל. חשיפתו מגלה מערכת הזנה ותוצרים וולקניים מגוונים, ומציגה יחסי שדה מורכבים בינו לבין סלעי הסביבה והמבנים הגיאולוגיים הסמוכים. הלוע נחקר על ידי ליאור אהרון במסגרת עבודת גמר באוניברסיטה העברית ובמכון הגיאולוגי (אהרון, 1997). מדריך סיור זה מבוסס בחלקו על עבודתו של אהרון ועל מדריכי סיור קודמים לאזור זה (אהרון וחבריו, 1995, Heimann et al., 1995, בר, 2002). במספר תחומים מוצגות במדריך הסיור הנוכחי תצפיות ופרשנויות חדשות. לתחנות 1 ו-2 ניתן להגיע ברכב פרטי, חלקו העיקרי של הסיור (תחנות 3-13) רגלי, ולתחנה 14 רצוי להגיע ברכב 4x4. לסיור שלוש מטרות עיקריות:

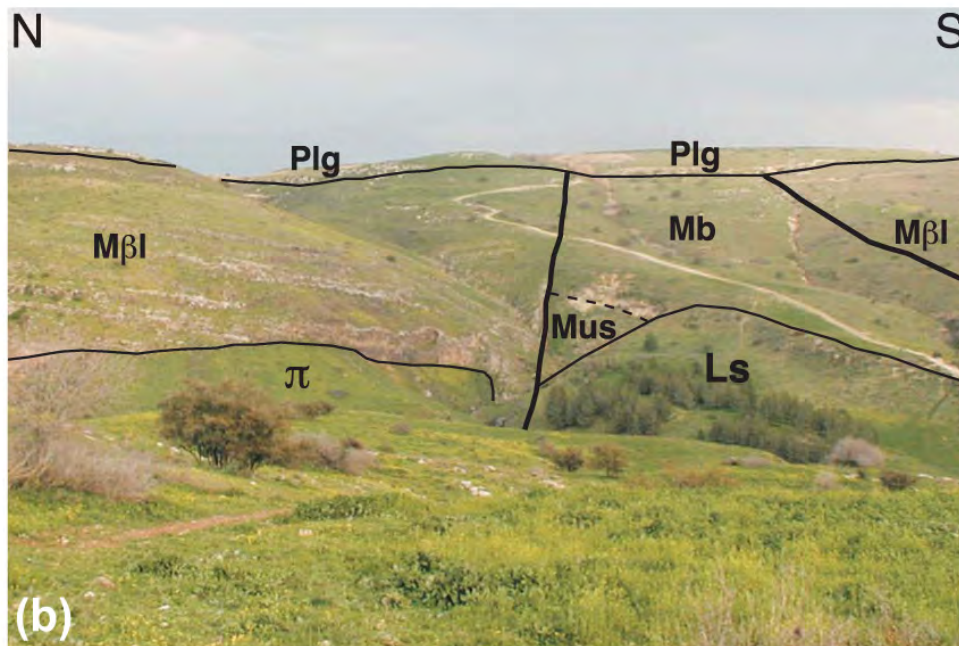
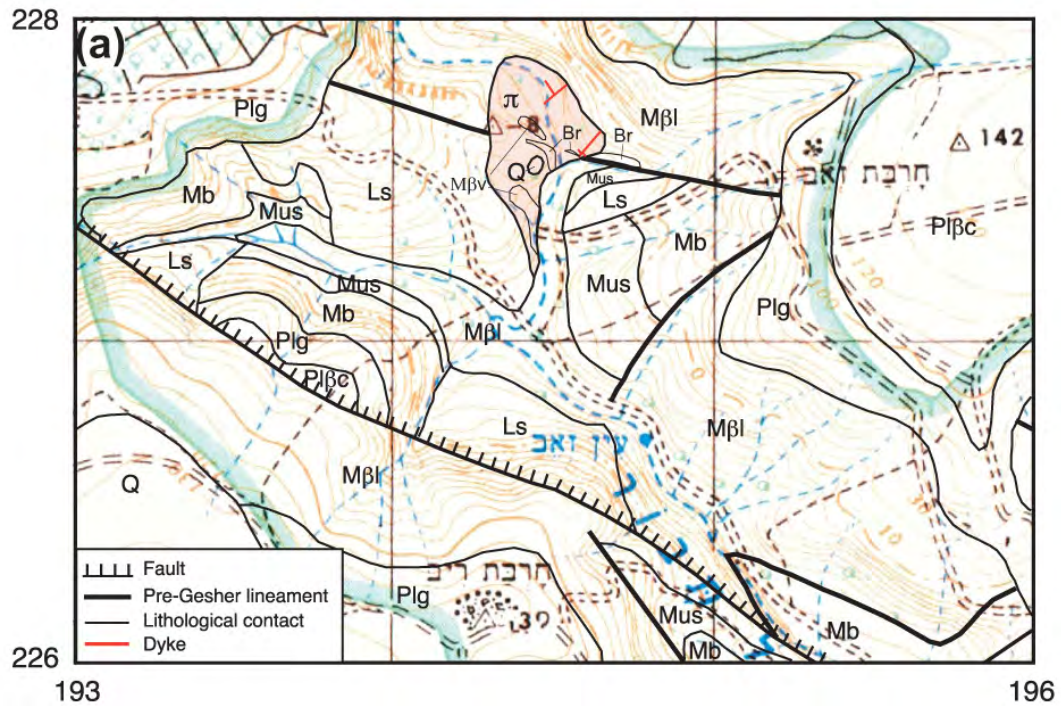
1. הכרת הסטריגרפיה והמבנה של אזור הגליל התחתון.
2. ביקור בלוע הוולקני של נחל תבור, הכרת היחידות הוולקניות השונות בתחומו ובסביבתו, והצגת דגמי זרימה של מגמה בדייקים.
3. הבנת הקשר בין הטקטוניקה, הסטריגרפיה והוולקניזם באזור.

מבנה גיאולוגי

המבנה הגיאולוגי באזור הגליל התחתון הוא של בלוקים נטויים אשר מופרדים ביניהם על ידי מערכת העתקים נורמאליים שכיוונה צפון-צפון-מערב עד מזרח-מערב (איור 1). חלקם החלו את פעילותם במיוקן ופעלו שנית בפליוקן לאחר בזלת הכיסוי (שליב, 1991). ממערב לאזור בולטים מבני ההורסטים והגראבנים של הרי נצרת, בקעת כסולות ועמק יזרעאל, וממזרח לאזור שולטים העתקי השוליים של בקע ים המלח. שכיונם הכללי צפון - דרום עד צפון-צפון-מזרח. באזור המצומצם של הסיור קיימות שתי מערכות העתקים, האחת בכיוון מערב-צפון-מערב והשניה בכיוון צפון-מזרח (איור 2a). הראשונה פעלה במיוקן וחיזשה פעילותה לאחר בזלת הכיסוי, והשניה פעלה כנראה רק במיוקן (ראה תצפיות ודין בהמשך).



איור 1. (a) מפת מיקום של איזור הסיור (במסגרת צהובה) ומערכות ההעתקים והדייקים (באדום) בגליל התחתון. (b) מבנה הגליל התחתון המזרחי (נמתח בגין וזילברמן, 1997).



איור 2. (a) מפה גיאולוגית של איזור הלוע הוולקני. $M\beta l$ - בזלת תחתונה, π - סלעים פירוקלסטיים, Mus - חצ' אום סבונה, Mb - חצ' בירה, Plg - חצ' גשר, $P\beta c$ - בזלת הכיסוי, Q - אלוביום, Ls - גלישת סלע. (b) מבט כללי על איזור הסיור. ניתן להבחין בשני ליניאמנטים קדומים לתצורת גשר ובקיר הלוע הוולקני (נמגע בין בזלת תחתונה וסלעים פירוקלסטיים). למקרא היחידות ראה לעיל.

הבזלת התחתונה (שולמן, 1962, בעקבות Blake, 1928)

התצורה העתיקה ביותר החשופה באיזור הסיור היא הבזלת התחתונה, שבנויה בעיקר מאלקלי-אוליבין בזלת (Oppenheim, 1962). התצורה מתאצבעת באזורים סמוכים עם תצורת הורדוס או מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי יחידות קרטיקוניות עד איאוקניות (שליב, 1991). בגג התצורה אי התאמה נוספת, כאשר מעליה מונחות תצורות אום סבונה, בירה וגשר (ראה בהמשך). העובי המירבי החשוף של התצורה (450 מ') נמצא במתחילת כוכב (שולמן, 1962); קידוח בלואר-1 הסמוך חדר בזלת תחתונה בעובי של כ-650 מ' (שליב, 1991). העובי המרבי של מחשופי התצורה באזור הסיור הוא 74 מ' (אהרון, 1997); המגע התחתון של התצורה לא נחשף. בקידוח המים כפר קיש 3 הנמצא כ-2 ק"מ מערבית לחתך זה נחדרה הבזלת התחתונה עד לעומק של 318 מ'. טווח הגילים הכולל של התצורה בגליל הוא מכ-17.5 מ.ש. עד כ-9 מ.ש. (שליב, 1991). באזור נחל תבור התקבלו גילי K-Ar בין 13.5 מ.ש. ו-13.2 מ.ש. (אהרון, 1997; טבלה 1). מקורות ההזנה המוצעים של הבזלת בגליל הם דייקים, צינורות הזנה, סדנים והרי געש (שולמן, 1962, שליב, 1991). באזור הסיור בנויה הבזלת מסדרת זרמים וביניהם קרקעות פוסיליות ובמקום אחד, קרוב לבסיס החתך, מונח בין הזרמים אופק של טוף משוכב עם מעט פצצות וולקניות (אהרון, 1997). מקור הבזלת באזור זה אינו ידוע.

טבלה 1: גילים רדיומטריים מאזור הלוע הוולקני בנחל תבור (Baer et al., submitted)

Sample #	Location/description	Coordinate (Israel Grid)	#. of Meas.	Age and Error (Ma)
d-1	Cover Basalt SW of NTV	19350/22700	3	5.6±0.7
d-2	Dike - Southern part of NTV	19440/22745	3	11.5±0.5
d-3	Prismatic Basalt	19445/22745	3	13.3±0.3
d-4	Scoria bomb near dike 5	19450/22775	3	13.6±0.3
d-5-1	Scoria bomb near dike 2	19445/22785	3	8.6±0.3
d-5-2	Scoria bomb near dike 2	19445/22785	3	8.5±1.1
d-6	Glassy bomb near dike 5	19450/22770	3	13.1±0.5
d-7	Basalt – dike 1	19450/22775	2	13.2±0.7
d-8	Basalt – dike 2	19450/22775	3	13.2±0.5
d-9	Lower Basalt – bottom flow	19400/22805	2	13.5±0.2
d-10	Lower Basalt – intermediate flow	19470/22765	2	13.5±0.6
d-11	Lower Basalt – upper flow	19535/22785	2	13.2±0.3
d-12	Breccia body	19465/22760	2	13.1±0.3
AH-1773	Basalt – southern sheeted body	19440/22745	1	8.5±0.2
AH-1774	Basalt – southern sheeted body	19440/22745	1	7.8±0.2

תצורת אום-סבונה (קונגלומרט אום סבונה אצל שולמן, 1962)

התצורה קלסטית בעיקרה ומכילה במקומות מסוימים גם אופקים שנראים פירוקלסטיים. שולמן (1962) הציע שהתצורה קשורה לשלב של שבירה ויצירת בלוקים מורמים בסוף תקופת הבזלת התחתונה. העובי המרבי של התצורה כ-200 מ' בנחל צבון (אום סבונה), שם נמדד החתך הטיפוסי (שולמן, 1962). גיל התצורה על פי שליב (1991) הוא בין 8.5 מ.ש. ל-7 מ.ש. באזור נחל תבור נמצאו שינויים על פני מרחקים קצרים בעובי תצורת אום סבונה, בין 0 מ' ל-40 מ' (איור 2). הרכב התצורה משתנה אף הוא בין קונגלומרט יבשתי עם חלוקים בזליים לסלעים קלסטיים דקי גרגר (נאבני חול וולקנוגניות), ופפריטים, שהם סלעים חואריים אגמיים המכילים פרגמנטים של בזלת, טוף וסקוריה (אהרון, 1997, ראה תחנה מס' 12). התצורה מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי הבזלת התחתונה ועוברת באופן הדרגתי לתצורת בירה שמעליה.

תצורת בירה (חואר בירה אצל שולמן, 1962)

תצורת בירה חוארית בעיקרה, אבל נפוצים בה שינויים פציאליים בין חואר, פצלים חרסיתיים, גיר, דולומיט, קרטון, חול גירי, קונגלומרט וסלעים אוופוריטיים (שליב, 1991). מאספי הפאונה ביחידות הקרבונטיות מעידים על סביבת השקעה אגמית של מים מתוקים עד ברקיים עם תקופות של שינויים קיצוניים במליחות המים מברקיים להיפרסליניים (Rosenfeld et al., 1981). לקראת סוף הרבדת תצורת בירה חדרו מי הים התיכון דרך עמק יזרעאל עד שולי בקעת הירדן, ושקע גיר צדפות ("לומשל") קרוב לגג התצורה. עובי התצורה משתנה באופן משמעותי בין 0 מ' למעל 350 מ' (שליב, 1991). גיל התצורה (נקבע לפי תיארוך זרמי בזלת שמתחתה ומעליה) בין 7 מ.ש. ל-5.3 מ.ש. (שליב, 1991). המעבר בין תצורת אום סבונה לבסיס תצורת בירה הדרגתי. גג תצורת בירה מכוסה באי התאמה ארוזיבית או זוויתית על ידי תצורות גשר ובזלת הכיסוי. באזור נחל תבור ממלאת תצורת בירה את התבליט שנוצר בסוף תקופת הבזלת התחתונה, והיא מונחת בהתאמה על תצורת אום סבונה ובאי-התאמה על גבי הבזלת התחתונה. עובי התצורה באזור הסיור משתנה בין 0 מ' ל-20 מ' (שולמן, 1962; אהרון, 1997).

תצורת גשר (שולמן, 1962)

תצורה המורכבת בעיקר מגירים וקרטונים שהצטברו באגמים של מים מתוקים, לאחר נסיגת הים. התצורה מונחת באי התאמה על הבזלת התחתונה ועל תצורות אום סבונה ובירה, ומכוסה באי התאמה על ידי בזלת הכיסוי. עובי התצורה המרבי הוא 120 מ' (שליב, 1991). באזור סירן (מצפון לנחל תבור) ובמתלול כוכב (מדרומו) חסרה התצורה כנראה עקב גידוע מאוחר להשקעתה (שולמן, 1962). גיל התצורה בין 5.3 מ.ש. ל-4.8 מ.ש. (שליב, 1991). באזור הסיור מכסה התצורה מתלולים קדומים (איור 2b) ומונחת מעל לתצורת בירה באזורים הנמוכים סטרוקטורלית ומעל לבזלת התחתונה או לאופק ה"לומשל" של תצורת בירה באזורים הגבוהים סטרוקטורלית. עובי התצורה ואופייה אינם מושפעים מהתבליט הקדום. בחתך שנמדד כ-5 ק"מ דרומית מזרחית לאזור הסיור בנויה התצורה מחילופין של חואר, חרסית, קרטון וגיר כאשר בחלקה העליון מכילות שכבות אלה אואוליטים. עוביה כ-55 מ' (אהרון, 1997).

בזלת הכיסוי (שולמן, 1962)

זו התצורה המכסה את הרמות הנטיות בגליל התחתון והיא העליונה בחתך הסטריגרפי של איזור הסיוור. הבזלת מונחת באי התאמה על היחידות הקדומות לה. בזלת הכיסוי בנויה מאלקלי אוליבין בזלת (אופנהיים, 1959) וגילה בתחום שבין 5.5 ו-3.3 מ.ש. (Heimann et al., 1996). העובי המרבי של התצורה הוא כ-150 מ' (שולמן, 1962). באזור הסיוור עובי התצורה 12 מ' (אהרון, 1997).

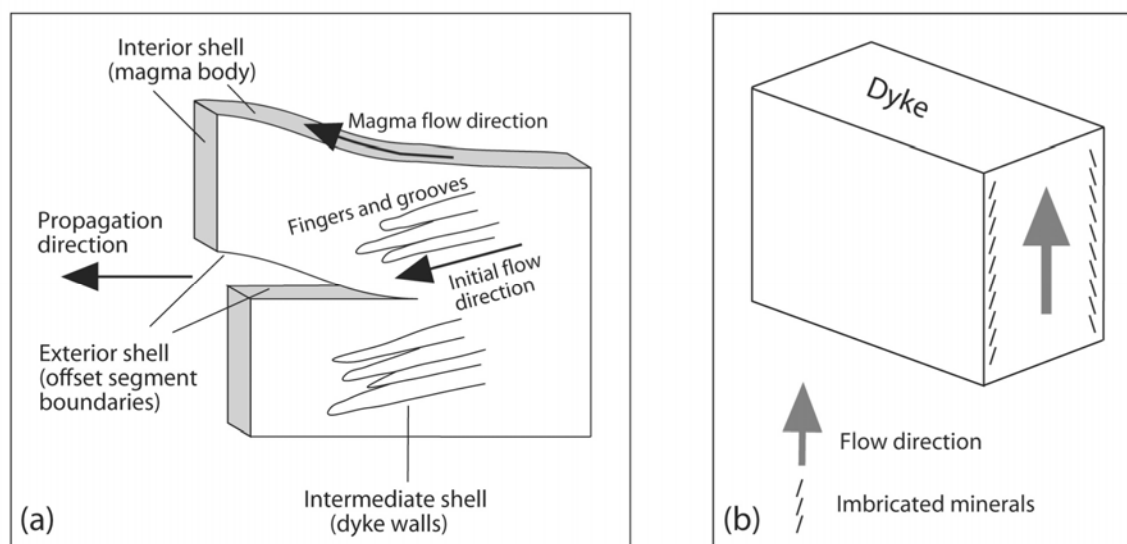
מגמטיזם

איזור הגליל התחתון עשיר בסלעים מגמטיים מסוגים שונים. גופי מחדר גדולים (סדנים) נפוצים בעיקר בגבעת המורה (דיקר, 1964). מחדרים לוחיים (דייקים) בשתי מערכות בו-זמניות, צפון-מזרחית וצפון-מערבית, נפוצים בעיקר בגבעת המורה ובבלוק אינדור (Dicker, 1969), ובנחל תבור (אהרון, 1997) (איורים 1a, 2a). סלעים וולקניים אפוזיביים (בזלות) מכסים כמעט את כל איזור הגליל התחתון. סלעים וולקניים אקספלזיביים נפוצים פחות ומצויים בעיקר בסמיכות למרכזי התפרצות. עד כה אותרו מרכזי התפרצות מתקופת הבזלת התחתונה ממזרח לכוכב הירדן (שולמן, 1962). באזור חל עגול ודרומית מערבית לו (שליב, 1991), בגבעת המורה (דיקר, 1964), בשולי רמות מנשה (שליב, 1991), ובנחל תבור (אהרון, 1997), ובו מתמקד סיוור זה.

שחזור כיווני זרימה של מגמה בדייקים

במסגרת הסיוור נצפה בדייקים שנחשפים בלוע הוולקני של נחל תבור. חלק מהבנת תהליך הצבתם ומקור הזנתם מבוסס על שחזור כיווני ההתקדמות של הדייקים וכיווני הזרימה של המגמה בהם. קיימות מספר שיטות לשחזור כיוונים אלה (נלמשל, Pollard et al., 1975, בר, 1989). כיווני ההתקדמות משוחזרים על סמך הגיאומטריה של קטעי הדייקים, כאשר מדרגות שמפרידות בין הקטעים מקבילות בדרך כלל לכיוון ההתקדמות ומבנים מאורכים בצורת אצבעות על קירותיהם או על קירות סלעי הסביבה מצביעים על כיווני הזרימה הראשוניים בדייק (איור 3 מתוך Baer, 1995). כיוון הזרימה של המגמה בדייק אינו בהכרח דומה לכיוון ההתקדמות של הדייק ואותו ניתן לשחזר באמצעות המרקם המינרלוגי והמגנטי של הסלע (נלמשל, Knight and Walker, 1988, Shelley, 1985). כיווני הזרימה של הדייקים בנחל תבור שוחזרו בעיקר באמצעות המרקם המגנטי של הסלע על ידי מדידת האנאיזטרופיה של הסוספטביליות המגנטית (AMS) והשוו לכוונים מועדפים כפי שנצפו בשקפים מכוונים (אהרון, 1997). השיטה מבוססת על ההנחה שבמגמה זורמת מסתדרים גבישי הסלע במקביל לכיוון הזרימה וכך הם נראים גם בהתגבשותה. מינרלים מגנטיים קטנים (מגנטיטים בעיקר) מסתדרים אף הם במקביל לגבישי הסלע בצורה של שרשראות. מבנה זה יוצר אנאיזטרופיה של הסוספטביליות המגנטית של הסלע (אותה ניתן למדוד), כאשר ברוב המקרים הציר הארוך של אליפסואיד האנאיזטרופיה (ציר K1) מקביל לציר הארוך של שרשראות המגנטיטים, כלומר לכיוון המועדף של המינרלים בסלע שהוא כיוון הזרימה. כתוצאה מהבדלים במהירות הזרימה של המגמה בין מרכז הדייק וקירותיו מתרחשת גזירה בתוך המגמה הזורמת וגבישים מסתובבים בקרבת הקירות שם הגזירה

רבה יותר ויצרים אימבריקציה. מגמת הסיבוב (כיוון האימבריקציה) מאפשרת שחזור של מגמת הזרימה, בנוסף לשחזור כיוון הזרימה (איור 3b). בנחל תבור התבצע מחקר מסוג זה ונמדדו צירי ה AMS לרוחב דייקים בגלענים במרווחים קטנים ככל האפשר. צירי ה AMS הוצגו על גבי השלכות סטיריאוגרפיות המאפשרות זיהוי כיוון הזרימה (נמוצע צירי K1) ומגמתה (אימבריקציה צירים אלה משני צידי הדייק). פרוט המדידות ותוצאותיהן ניתן למצוא אצל אהרון (1997).



איור 3. שחזור כיווני התקדמות וזרימה בדייק. (a) התפצלות לקטעים. כיוון גבולות הקטעים מצביע על כיוון התקדמות הדייק. מבני אצבעות על קירות הדייק מצביעים על כיוון הזרימה הראשוני ומרקם הסלע מצביע על כיוון הזרימה של המגמה בתוך הדייק (נמתוך Baer, 1995). (b) יחסים סכימטיים בין צורת האימבריקציה של המינרלים בקרבת קירות הדייק לבין מגמת הזרימה.

תחנות הסיוור (איורים 1a, 4)

תחנה 1 - כוכב הירדן: תצפית על מבנה הגליל התחתון

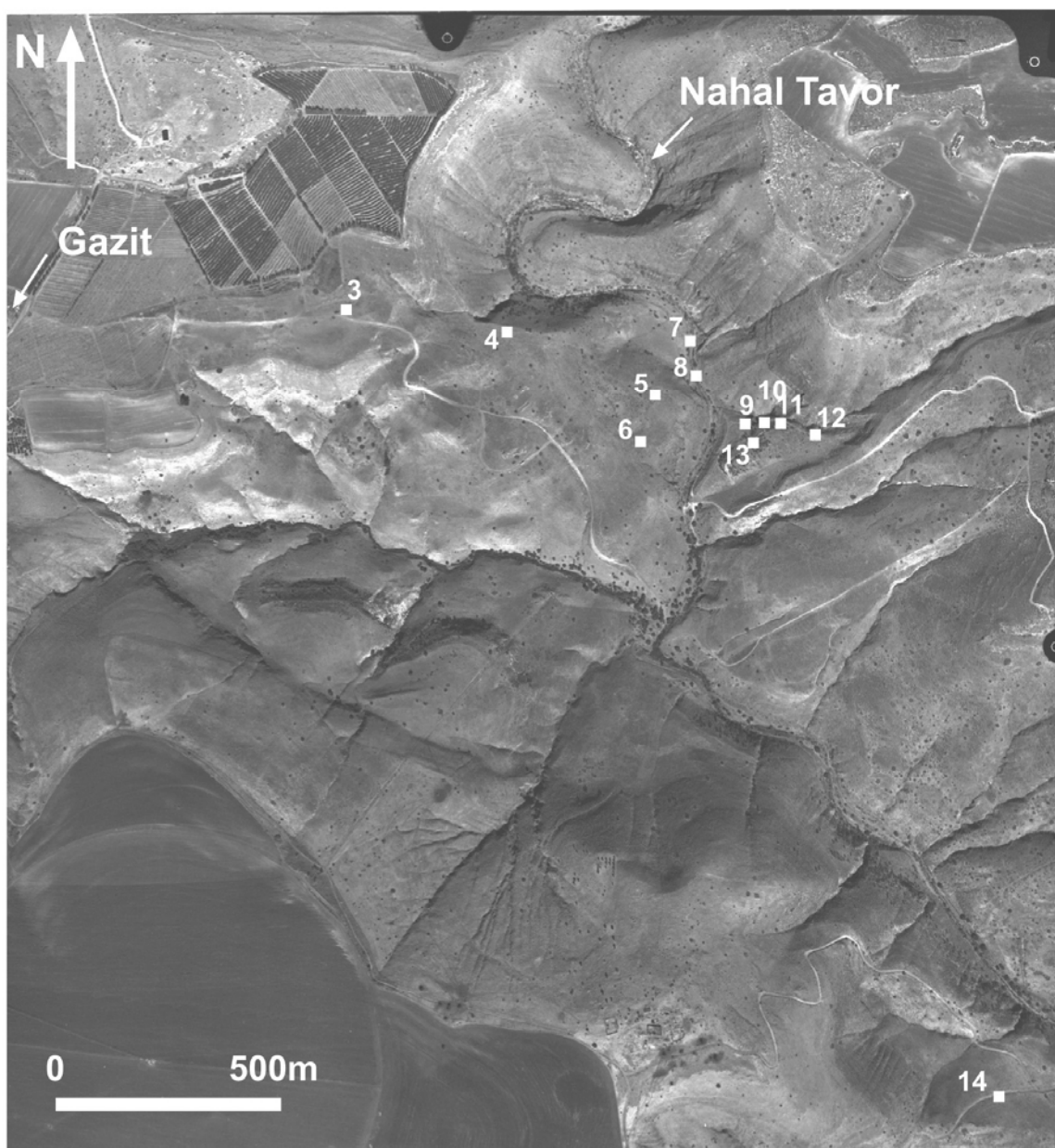
במבט צפונה מכוכב הירדן ניתן לצפות בשלוש רמות נטיות, רמת כוכב, רמת סירין ורמת יבנאל-פוריה אשר מופרדות על ידי העתקים נורמאליים שכיוונם צפון-צפון-מערב עד מזרח-מערב (איור 1). הרמות מתנקזות מזרחה על ידי הנחלים: יששכר, תבור, יבנאל, בהתאמה. העתק השוליים של בקע ים המלח, שכיוונו הכללי צפון - דרום עד צפון-צפון-מזרח, נראה במבט מזרחה.

תחנה 2 - יחסי שדה בין זרמי בזלת, דייקים והעתק

(כביש נעורה-תמרה, כ-400 מ' דרומית לתמרה)

יחסי שדה בין זרמי הבזלת התחתונה, דייקים והעתק נצפים במחשופים טריים משני צידי הכביש. ניתן לראות שני זרמים עם קרקע מאובנת ביניהם, שני דייקים שחוזרים את הזרם התחתון ומזינים את הזרם העליון והעתק מקביל לדייקים שפעל ככל הנראה לפני ואחרי הזרם העליון (איור 5). זהו אחד המקומות הבודדים

בגליל בו ניתן לזהות את מקור ההזנה של הבזלת התחתונה. זרמי הבזלת תוארכו באתר המרוחק כ-2 ק"מ דרומית מזרחית למחשוף ל- 14.1 עד 13.3 מ.ש. (היימן, דברים בע"פ, 1997).



איור 4. תחנות הסיור בנחל תבור על גבי צילום אויר.



איור 5. יחסי שדה בין זרמי הבזלת התחתונה, דייקים והעתק בחתך המזרחי של כביש נעורה תמרה. $\beta 1$, $\beta 2$ זרמי בזלת, fs - קרקע מאובנת בגג זרם בזלת, D - דייק, מספרים 1, 2, 3, מציגים זורות חדירה בדייק 2.

תחנה 3 - תצפית על איזור הסיור בנחל תבור

(על הדרך מקיבוץ גזית לנחל תבור)

במבט מזרחה ודרומה ניתן לצפות בחתך הסטרטיגרפי של איזור הסיור, ובקשר בין המבנה הגיאולוגי למיקום הלוע הוולקני. החתך הסטרטיגרפי על הגדה המזרחית של נחל תבור משתנה מצפון לדרום ומראה קשר ברור לשני מתלולים קדומים שכוונם מערב-צפון-מערב וצפון-מזרח (איור 2). בגוש הצפוני, המורם, החתך בנוי מבזלת תחתונה, מעליה יחידה דקה של גיר צדפות ("לומשל") (לא מסומנת במפה או על גבי התצלום), ומעליה תצורת גשר. בגוש המרכזי (דרומית למתלול הצפוני) בזלת תחתונה בבסיס החתך, ומעליה תצורות אום סבונה, בירה וגשר, ובגוש הדרומי (מעבר למתלול הדרומי), חתך דומה לזה של הגוש הצפוני, כלומר בזלת תחתונה, ומעליה יחידת ה"לומשל" ותצורת גשר. הלוע הוולקני נמצא על הגבול בין הגוש הצפוני והגוש המרכזי. תצורת גשר מאוחרת לשני המתלולים ומכסה אותם. במבט דרומה ניתן להבחין בהעתק נוסף שכוונם צפון-מערב, המוריד את הגוש המרכזי (כולל תצורת גשר ובזלת הכיסוי) ומעמידו מול בזלת תחתונה ומעליה "לומשל" ותצורת גשר. ההבדלים הסטרטיגרפיים משני צידי העתק זה והיחידות המועתקות מעידים על שני שלבים בפעילות: שלב ראשון לפני תצורת גשר, ושלב שני אחרי בזלת הכיסוי.

תחנה 4 - מתלול (תבליט) קדום בבזלת התחתונה מערבית ללוע הוולקני

(כ-200 מ' צפונית מזרחית לתחנה 3)

בערוץ נחל שירד לנחל תבור נחשף מתלול בגג הבזלת התחתונה ועליו ברקציה המורכבת משברי הבזלת. מעל המתלול, באי התאמה, נמצאת תצורת בירה החווארית, נטויה מעט, שמתדקקת צפונה לעבר הגוש המורם. יחסים דומים בין הבזלת התחתונה, גופי ברקציה, ותצורות אום סבונה ובירה נצפים לאורך מספר קוים באזור נחל תבור (למשל תחנות 9, 14), ובאזורים סמוכים בגליל התחתון המזרחי (שולמן, 1962). בהמשך הסיור נצפה בגוף ברקציה זה בכמה נקודות נוספות לאורך קו שכיוונו 280 העובר בתחום הלוע הוולקני, ונדון במקור הברקציה.

תחנה 5 - תצפית על הלוע הוולקני של נחל תבור

(400 מ' מזרחה, על הגדה המערבית של הנחל)

במבט צפונה ומזרחה מנקודה זו ניתן להבחין בקירות הלוע הוולקני וביחידות הוולקניות הבונות את חלקו הפנימי. סלע הסביבה בו ממוקם הלוע הוא הבזלת התחתונה. בין הלוע לסלע הסביבה קירות אי-רגולריים. הלוע בנוי ברובו מסלעים פירוקלסטיים היוצרים מדרון מתון בנוף (תחנה 7). אל תוך הסלעים הפירוקלסטיים חדרו מספר דייקים (שניים מהם נראים מתצפית זו) בשתי מערכות ניצבות זו לזו (איור 6): צפון-מזרח וצפון-מערב. הדייקים מוגבלים לסלעים הפירוקלסטיים, והם מתדקקים ומתפצלים לקראת קיר הלוע.

תחנה 6 - גופי בזלת בתוך סלעים פירוקלסטיים

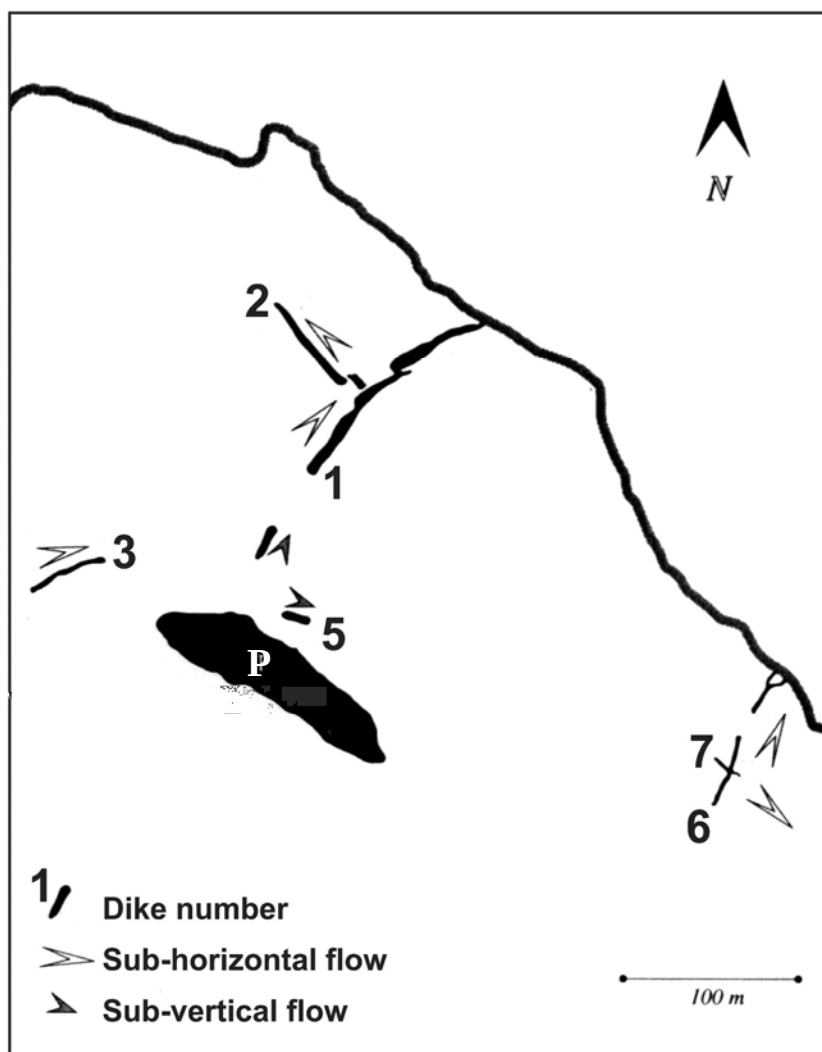
בקרב הגבול הדרומי של הלוע מספר מחשופים של גופי בזלת לוחיים שחלקם נראים בנטיית שבין 10° ל- 60° דרומה. אהרון (1997) כינה גופי סלע אלה בשם "הדייקים הדרומיים", אף כי חלקם כמעט אופקי ובחלקם לא ניכר כלל מרכיב לוחי. גופי הסלע מוקפים סלעים פירוקלסטיים אדמדמים. מבחן קמט פליאומגנטי מראה שלא עברו הטייה מאוחרת להצבתם. עדויות השדה עד כה אינן מאפשרות הבחנה חד משמעית בין האפשרות שאלה גופי מחדר (דייקים, סילים או מחדרים אי-רגולריים) או זרמי בזלת נטויים על גבי מדרון קדום, אם כי נטייתם התלולה של כמה מהם תומכת באפשרות הראשונה. לכמה מהגופים הללו שיכוב תת-אופקי, קירות אנכיים, מבנה פריזמטי ועובי של כמה מטרים, דבר המרמז על האפשרות שהם שרידים של אגמי לבה שהצטברו באזור הלוע. תיארוך רדיומטרי של הגופים הלוחיים מראה גילים של 11.5 ± 0.5 מ.ש. (אהרון, 1997), 7.78 ± 0.18 ו- 8.53 ± 0.19 מ.ש. (נטבלה 1). אלה גילים צעירים מגיל שאר גופי הבזלת בלוע (ראה בהמשך). גיל גוף הבזלת הפריזמטי 13.3 ± 0.3 מ.ש.

תחנה 7 - סלעים פירוקלסטיים ומפגש דייקים 1 ו-2

(בערוץ הנחל ועל גדתו המזרחית)

הלוע בנוי ממגוון סלעים פירוקלסטיים הכוללים בעיקר טוף, סקוריה, ופצצות וולקניות. אל תוכם חוזרים שני הדייקים. דייק 1 בנוי משלושה קטעים שכוונם צפון-מזרח ודייק 2 בנוי משני קטעים שכיוונם צפון-מערב (איור 6). יחסי החיתוך בין הדייקים אינם ברורים במבט שדה ולכן נבדקו באמצעות שחזור כיווני הזרימה של הדייקים באזור החיתוך. בסלע שנראה כשייך לדייק 1 התקבל כיוון זרימה מקביל לדייק 2, דבר שמצביע על

כך שדייק 2 חדר לדייק 1 (נאהרון, 1997). במעלה דייק 1 לכונן קיר הלוע הדייק מידקק, ואינו חוזר את סלע הסביבה הבולתי. כיווני הזרימה בדייקים הם (איור 6): בדייק 1 זרימה תת-אנכית בחלקו הדרומי וזרימה אופקית מדרום-מערב לצפון-מזרח בהמשכו צפונה; בדייק 2 זרימה אופקית מצפון-מערב לדרום-מזרח (נאהרון, 1997). תיארוך רדיומטרי של שני הדייקים מראה גילים של 13.2 ± 0.7 מ.ש. ו- 13.2 ± 0.5 מ.ש. לדייק 1 ולדייק 2, בהתאמה (טבלה 1). תיארוך שתי פצצות סקוריה בתחנה זו מראה גילים של 8.6 ± 0.3 ו- 8.5 ± 1.1 מ.ש.



איור 6. מפת המחדרים בלוע הוולקני. חצים מצביעים על מגמות הזרימה בדייקים. P "המחדר העיקרי". (מתוך נאהרון, 1997).

תחנה 8 - דייק 5

(כ-50 מ' במורד הנחל מתחנה 7)

כיוון הדייק מערב-צפון-מערב. בתחנה זו, שמכוסה לעיתים במי נחל תבור, ניתן לזהות כמה עדויות שונות לכיוון זרימה תת-אנכית של הדייק. קירות הדייק מראים הופעה גלית. צירי האורך של גלים אלה תת-אנכיים ומעידים על התקדמות תת-אנכית של הדייק (נאהרון, 1997). בסלע הדייק בסמוך לקירותיו נראות בועות

מאורכות, אף הן בכיוון תת-אנכי. בנוסף, גם כיוון הזרימה שמתקבל ממדידות AMS הוא תת-אנכי (איור 6).
תיארוך פצצת סקוריה מסלע הסביבה ליד הדייק בתחנה זו מראה גיל של 13.6 ± 0.3 מ.ש. (טבלה 1).

תחנה 9 - גוף הברקציה

(100 מ' במעלה ערוץ צדדי מזרחית לנחל תבור)

בתחנה זו ניתן להתבונן במרכיבי הברקציה, חלקי בזלת מזווחים בעיקר, ובנטיית גוף הברקציה, כ- 60° . בקטע זה, שגובל בלוע הוולקני, מחשופי גוף הברקציה שלאורך הערוץ אינם רצופים. יחד עם זאת, ניתן להבחין בליניאמנט שכיוונו 280° והנמשך מתחנה 4 עד לתחנה זו והלאה מזרחה, ולאורכו נחשף גוף הברקציה. במבט מערבה אל עבר הגדה המערבית של נחל תבור, נצפים יחסי השדה בין גוף ברקציה וולקנית לאלמנטים אחרים בלוע (איור 7). בצפון נראים הסלעים הפירוקלסטיים של הלוע ובתוכם גוף מחדר בזלתי ("המחדר העיקרי", אהרון, 1997) במגע אנכי חד עם גוף הברקציה. רוחב גוף הברקציה כ-100 מ' ונראה בו שיכוב מסוים בנטיה של כ-30 דרומה. בהמשך דרומה, שוב מופיעים הסלעים הפירוקלסטיים וגופי הבזלת מחלקו הדרומי של הלוע (ראה תחנה 6).

תחנה 10 - מפגש דייקים 6 ו-7

(כ-50 מ' במעלה הערוץ)

יחסי השדה בין שני הדייקים דומים לאלה שבין דייק 1 ו-2. דייק 6 שכיוונו צפון-מזרח נחדר על ידי דייק 7 שכיוונו צפון-מערב (איור 8). בדומה לדייק 1, גם דייק 6 מידבק ומתפצל עם התקרבותו לקיר הלוע. בבזלת שמעבר לקיר נראים סדקים בכיוון הדייק שמצביעים על קיומו של קיר הלוע בזמן חדירת הדייק. סיום הדייק בתחום הלוע נובע ככל הנראה מקיום גבול בין סלעים בעלי תכונות מכניות שונות, שבולם את התקדמות הדייק (ראה למשל, בר, 1989). על סמך מדידות AMS כיוון הזרימה בדייק 6 תת-אופקי, מדרום-מערב לצפון-מזרח (איור 6). דייק 7 בנוי משלושה קטעים (הקטע העליון חוזר את דייק 6) (איור 8a). גבולות הקטעים התחתונים וכיווני בועות מאורכות על קירות שני הקטעים התחתונים (איור 8b) מצביעים על זרימה אלכסונית מצפון-מערב לדרום-מזרח. יתכן ודייק 7 הוא המשכו של דייק 2.

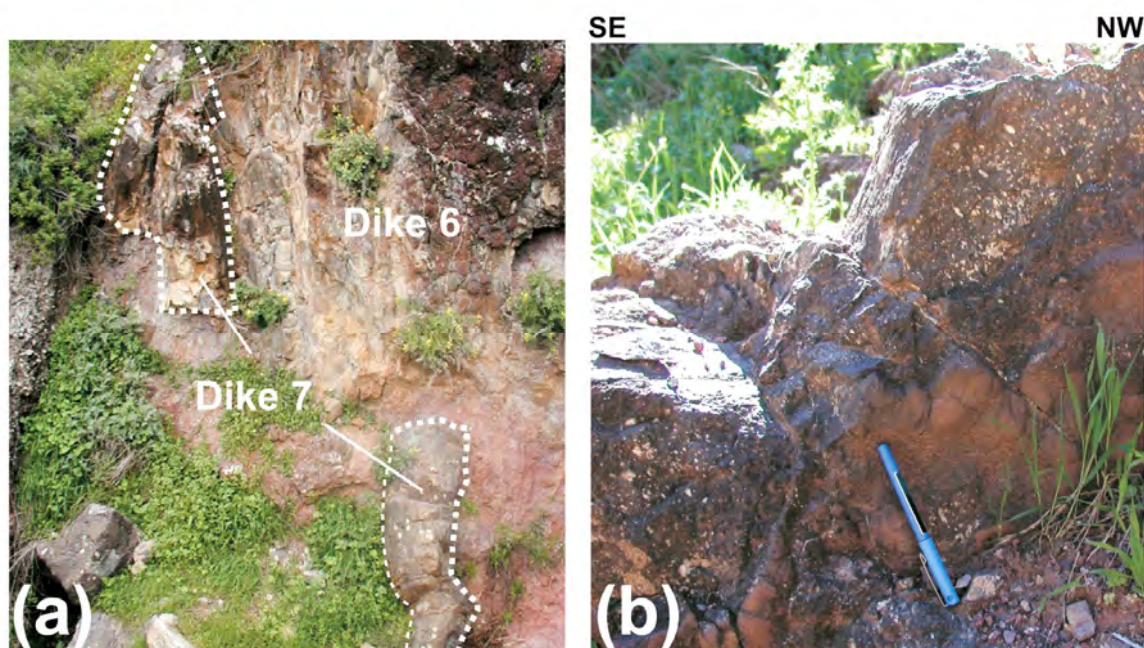
תחנה 11 - מגע בין גוף הברקציה והסלעים הפירוקלסטיים

(כ-50 מ' במעלה הערוץ)

בתחנה זו מופיע מחדש גוף הברקציה ומכאן מזרחה הוא רצוף. נצפים כאן בברור יחסי חיתוך (חדירה) של הסלעים הפירוקלסטיים אל גוף הברקציה. יחסים אלה מצביעים על קיומה של הברקציה לפני הפעילות בלוע. מבחן קונגלומרט פליאומגנטי במרכיבי הברקציה מראה פיזור אקראי לחלוטין של הוקטורים המגנטיים, שמעיד על מקור סדימנטרי של הברקציה. מכאן, ומשאר עדויות השדה שתוארו עד כה, ניתן להסיק שגוף הברקציה הצטבר כטאלוס (קולוביום) לאורך מדרון תלול בבזלת התחתונה שכיוונו 280. מדרון זה נפרץ על ידי הסלעים הפירוקלסטיים של הלוע הוולקני.



איור 7. תצפית על הגדה המערבית של נחל חבור ובה נראים יחסי השדה בין הברקציה הוולקנית (vbr) לבין הסלעים הוולקניים של הלוע. π - סלעים פירוקלסטיים, P - המחזר העיקרי, βpr - בזלת פריזמטית.



איור 8. (a) יחסי השדה בין שני קטעים של דייק 7 החוזרים לדייק 6. (b) בועות מאורכות על קיר הקטע התחתון של דייק 7 מצביעות על כיוון זרימה מצפון-מערב לדרום-מזרח.

תחנה 12 - תצורת אום סבונה

(כ-50 מ' נוספים במעלה הערוץ)

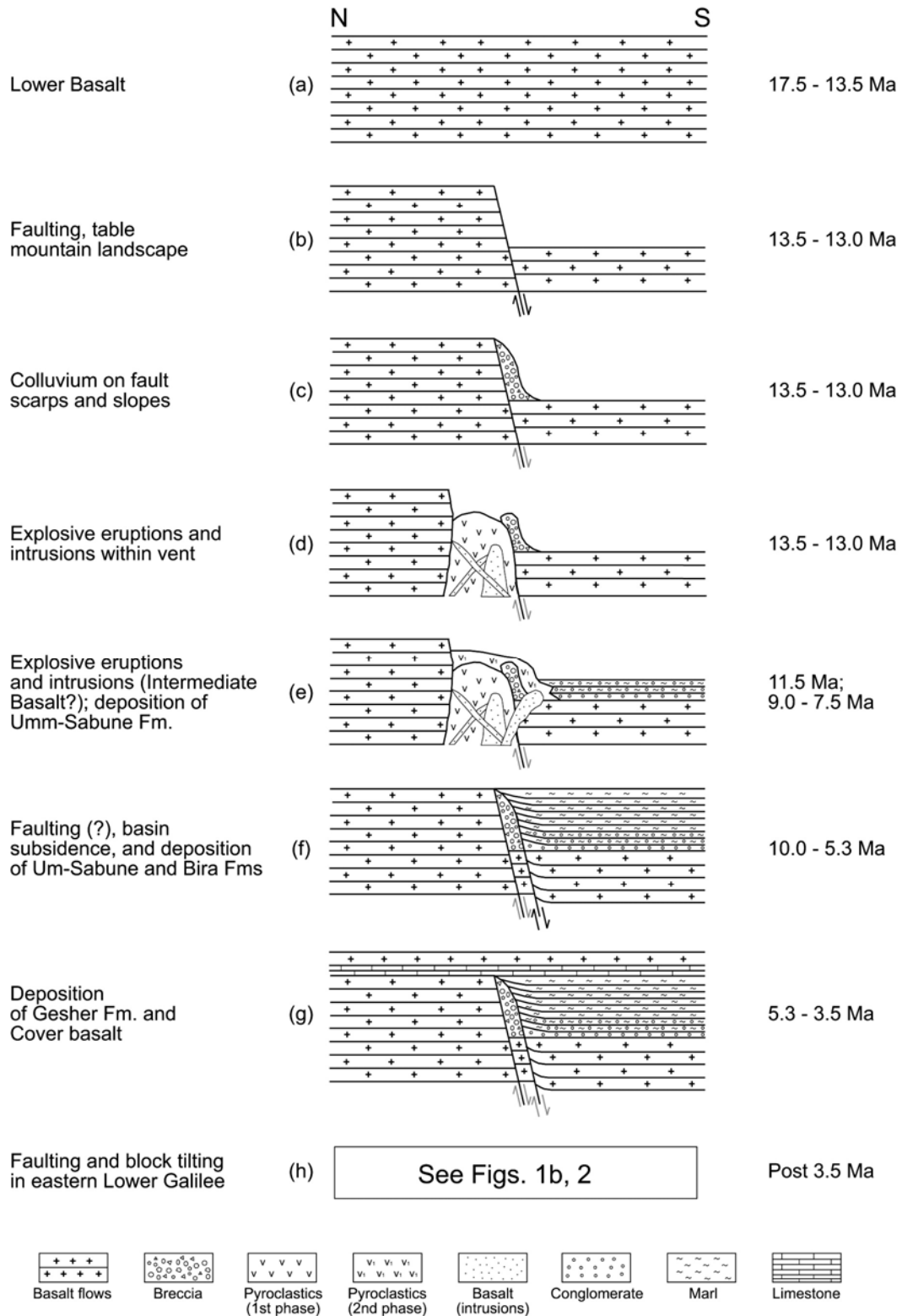
הגדה הדרומית של הערוץ וקרקעיתו בנויים מתצורת אום סבונה, שנחשפת בחלקה על ידי גלישה רחבה. בחלקו התחתון של החתך חואר צהבהב עם פצצות וולקניות וחלוקי בזלת שגודלם מגיע לעיתים עד כמה עשרות ס"מ. החלוקים מעוגלים ומצופים בכיסוי ברזלי חלק, בדומה לחלוקים שנצפו בלוע של מעלה העצמאות במכתש רמון (Garfunkel and Katz, 1967), שם הוסברה צורתם במנגנון גלגול תוך כדי עליה בצינור ההזנה של הלוע. במעלה החתך מעבר הדרגתי לתצורת בירה, כאשר החתך באזור המעבר

בנוי חוואר עשיר במרכיבים וולקניים כגון בזלת וסקוריה (פפריטים), ועדשות קונגלומרט, ובחלקו העליון אבני חול וולקנוגניות שהן סלע קלסטי דק הבנוי בעיקר מרכיבים וולקניים מעוגלים. בכל חלקי החתך נמצאו מאובנים של מים מתוקים (נאהרון, 1997). סמיכות התוצרים הוולקניים בחלק התחתון של תצורת אום סבונה ללוע של נחל תבור והגיל הצעיר (כ-8 מ.ש.) של פצצות וולקניות מהלוע וגופי בזלת מחלקו הדרומי של הלוע מעלים אפשרות שמקורם בהתפרצויות מהלוע הסמוך, תוך כדי השקעת התצורה. תצורות אום סבונה ובירה בתחנה זו נטויות מעט דרומה, בדומה לנטיות שנצפו בתחנה 4. נטיות אלה בסמיכות למתלול הקדום מרמזות על פעילות טקטונית, כנראה שבירה והשתפלות באגן, במשך השקעת שתי התצורות.

תחנה 13 - סיכום: ההסטוריה המגמטית והטקטונית של הלוע הוולקני וסביבתו

(איור 9) (גבעת האנדרטה, סמוך לתחנות 11 ו-12)

בנחל תבור נחשף חלקו הרדוד של לוע וולקני מיוקני, שמהווה חלק ממערכת הבזלת התחתונה. ההתפרצות של הר הגעש התרחשה דרך סלעי בזלת זו, ותוצרי ההתפרצות שהגיעו אל פני השטח נחשפים מעט מדרום ללוע. מיקום הלוע מוכתב על ידי העתק מיוקני בין גוש צפוני מורם, הבנוי מהבזלת התחתונה, וגוש דרומי ירוד, בו הצטברו מאוחר יותר תצורות אום סבונה ובירה (איור 9). גיל ההעתקה כ-13.5 מ.ש. (גיל גל הבזלת באזור הלוע). על גבי מתלול ההעתק הצטבר טאלוס שמורכב בעיקר מתוצרי הבלייה של הבזלת התחתונה שהתלכדו עם הזמן לכדי יצירת ברקציה. ההיסטוריה הוולקנית של הלוע מתחילה אף היא לפני כ-13.5 מ.ש. בהתפרצות סלעים פירוקלסטיים (טוף, סקוריה ופצצות וולקניות). מעט לאחר ההתפרצות הוצבו גופי מחדר לווחיים (דייקים) ואי-רגולריים בתוך הסלעים הפירוקלסטיים. הדייקים חדרו בשתי מערכות: צפון-מזרחית (בזרימה תת-אופקית לצפון-מזרח), ולאחר מכן צפון-מערבית (בזרימה תת-אופקית מהמרכז כלפי חוץ - לצפון-מערב ולדרום-מזרח). גופי המחדר לא חרגו מתחום הלוע אל סלעי הסביבה הבזלתיים. מדידות גיל בסלעי הלוע (זרמים ופצצות וולקניות) מצביעות על התפרצויות נוספות שגילן בערך 11.5 מ.ש. וכן בזמן הבזלת התיכונה (9-7.5 מ.ש.). מרכיבים פירוקלסטיים בסלעי תצורת אום סבונה בסמוך ללוע תומכים באפשרות זו. גם לאחר סיום האירוע הוולקני, המשיך להתקיים באזור נוף מורפוטקטוני של גושים מורמים, וביניהם אזורים משתפלים (לאורך העתקים) בהם שקעו התצורות האגמיות אום סבונה ובירה. חדירה ימית שבעקבותיה הורבדה תצורת גשר כיסחה את כל האזור. תצורת גשר כוסחה בפליקן על ידי זרמי בזלת הכיסוי. לאחר בזלת הכיסוי התרחשה באזור פאזה נוספת של שבירה, כאשר בפאזה זו נוצרו המבנים הנטוים של הגליל התחתון והעמקים הצפוניים. חלק מההעתקים הקדומים חידשו את פעילותם (באותה מגמה) באירוע העתקה זה.



איור 9. שלבים בהיסטוריה הטקטונית, הסדימנטרית, והמגנטית של הלוע וסביבתו. שלבים (a) עד (e) מציגים את איזור הלוע. שלבים (f) ו-(g) מציגים את הליניאמנט מחוץ לגבולות הלוע. שלב (h) נצפה לאורך העתקים סמוכים באזור.

תחנה 14 - תצפית על מאפייני הנוף המיוקני של האזור

(נסיעה במורד נחל תבור ברכב 4X4. עליה בדרך צדדית לתצפית בנצ. 19500/22590)
במורד נחל תבור, בנצ. 19510/22635 נפתח ערוץ הנחל מקניון בזלתי למפתח רחב הבנוי מסלעי תצורת בירה (נראים לצידי הדרך). משני צידי המפתח מדרונות תלולים הבנויים בזלת תחתונה. ברקציות דומות באופיין לזו שתוארה מאזור הלוע מלונות את המתלולים הללו. הדבר מצביע על כך שהאזור היה נמוך ביחס לסביבתו כבר בזמן השקעת תצורת בירה. בהמשך, מנקודת התצפית ניתן לזהות מתלולים (העתקים) קדומים נוספים בנויים ברקציה כאשר בכולם הצד הגבוה בנוי בזלת תחתונה והצד הנמוך בנוי מתצורות אום סבונה ובירה. המתלולים מסודרים בשני כיוונים: צפון-מערב וצפון-מזרח. לאורך חלק מהמתלולים הללו ארעה העתקה מאוחרת לבזלת הכיסוי.

בנקודה זו מסתיים הסיור בנחל תבור. יציאה מהנחל ברכב אפשרית דרך קיבוץ גזית (חזרה בדרך שבאנו) או דרך הכביש העולה לכוכב הירדן, כאשר הדרך העולה מהנחל דרומה מתחילה מזרחית לעין שחל.

מקורות

אהרון, ל., 1997. מערכת מגמטית רדודה מגיל מיוקן, הלוע הוולקני של נחל תבור. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/13/97, 91 עמ'.
אהרון, ל., בר, ג., עגנון, א., 1995. הלוע הוולקני בנחל תבור. מדריך סיור, כנס החברה הגיאולוגית, זיכרון יעקב, עמ' 21-43.
אופנהיים, מ., 1959. התופעות הוולקניות של הגליל התחתון הדרום-מזרחי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 177 עמ'.
בגין, זב., זילברמן, ע., 1997. השלבים והקצב של התפתחות התבליט בארץ ישראל. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/24/97, 63 עמ'.
בר, ג., 1989. מחדרים מגמטיים במכתש רמון, ישראל: מכניקת החדירה והשלכות סטרוקטורליות. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/48/89, 88 עמ'.
דיקר, ת., 1964. הגיאולוגיה של אזור עמק יזרעאל המרכזי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
שולמן, נ., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 103 עמ'.
שליב, ג., 1991. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של האגן הנאוגני בגליל התחתון ובעמקים. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/11/91, 94 עמ'.

- Baer, G., 1995. Fracture propagation and magma flow in segmented dykes: field evidence and fabric analyses, Makhtesh Ramon, Israel. In: Baer, G. and Heimann, A. (eds), *Physics and Chemistry of Dykes*, Balkema, Rotterdam, 125–140.
- Blake, G.S., 1928. *Geology and water resources of Palestine*, Govt. of Palestine.
- Dicker, T., 1969. Geology of central Yizre'el valley. *Isr. J. Earth Sci.*, 18: 39–69.
- Garfunkel, Z., and Katz, A., 1967. New magmatic features in Makhtesh Ramon, southern Israel. *Geological Magazine*, 104: 608–629.
- Heimann, A., Steinitz, G., Mor, D., and Shaliv, G., 1996. The Cover Basalt Formation, its age, and its regional tectonic setting: Implications from K–Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Isr. J. Earth Sci.*, 45: 55–71.
- Knight, M.D., and Walker, G.P.L., 1988. Magma flow directions in dikes of the Koolau Complex, Oahu, determined from magnetic fabric studies. *J. Geophys. Res.*, 93: 4301–4319.
- Oppenheim, M.J., 1962. The geology of the southeastern Galilee lava fields. *Bull. Res. Coun. Isr.*, 11G(2): 58–84.
- Pollard, D.D., Muller, O.H., and Dockstader, D.R., 1975. The form and growth of fingered sheet intrusions. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86, 3: 351–363.
- Rosenfeld, A., Segev, A., Halbersberg, E., 1981. Ostracode species and paleosalinities of the Pliocene Bira and Gesher Formations (northwestern Jordan Valley). *Isr. J. Earth Sci.*, 30: 113–119.
- Shelley, D., 1985. Determining paleo-flow directions from groundmass fabrics in Lyttelton radial dykes, New Zealand. *J. Vol. and Geotherm. Res.*, 25: 69–79.

כנרת יש רק אחת

תמר זהרי

המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון, המכון לחקר ימים ואגמים

רקע

אין להניח כמובן מאליו שהכנרת תוכל לשמש גם בעתיד כמקור למי שתייה ומי השקייה, לדייג, ולמרכז תיירותי. אגמים רבים בעולם שונו לחלוטין עקב התערבות האדם. אילוצים שונים גורמים לכך שגם על הכנרת מופעלים לחצים מעשה ידי אדם. למרות לחצים אלו, עד לאמצע שנות התשעים הכנרת שמרה על יציבות שהתבטאה בדינמיקה של אוכלוסיות הפיטופלנקטון (נהרב מינים וביומסה) שחזרה על עצמה משנה לשנה עם שינויים מינוריים בלבד. לעומת זאת, בשנים האחרונות אנו עדים לשינויים קיצוניים במערכת האקולוגית של הכנרת המעידים על ירידה ברמת היציבות. שינויים אלו כוללים, בין היתר, פלישת והתבייתות אצות כחוליות מקבעות חנקן שמייצרות רעלנים ומאיימות על איכות המים. בסיור נברר מהם הלחצים האנטרופוגניים על הכנרת, מה אנו יודעים על תגובת האגם ללחצים אלו ומעט גם על מה איננו יודעים.

תחנה 1 - תחנת הכח בנהריים - תחילת תפעול מפלסי הכנרת

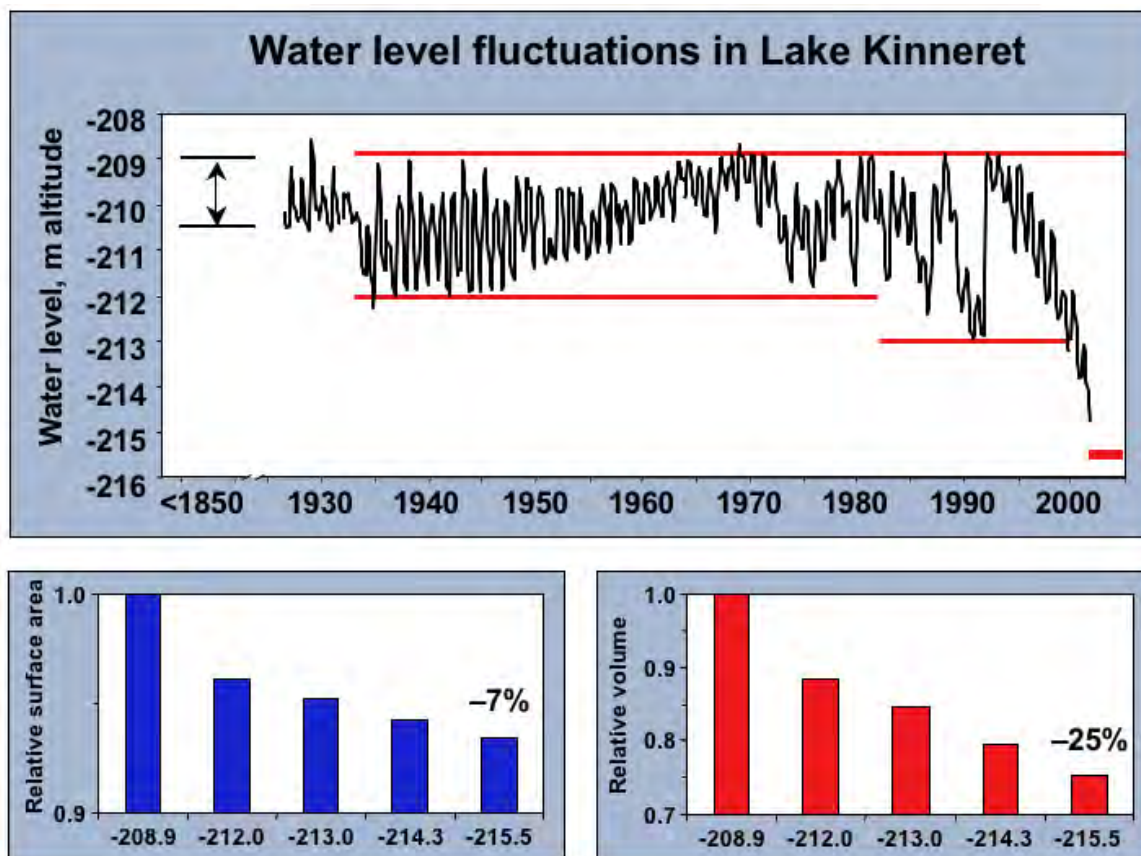
תחנת הכוח בנהריים, נקודת החיבור של הירדן והירמוק, הוקמה בימי המנדט הבריטי כדי לספק חשמל. סכר דגניה נבנה ב-1932 על מנת לאפשר שליטה על כמויות המים במורד הירדן הדרומי שמגיעות לתחנת הכח, ומאז החלה השליטה במפלסי הכנרת. התחנה חדלה לפעול בזמן מלחמת השחרור. בחורפים גשומים יש כאן זרימה שוצפת של מים.

תחנה 2 - הירדן הדרומי ליד גשר - בעיות אקולוגיות

הירדן הדרומי בין הכנרת לנהריים הוזנח בעשורים האחרונים והתעוררו בעיות אקולוגיות של מטרדי ריח מזרימת מי ביוב בתעלת עוקף כנרת, וסכנת קריסת מתלול גשר.

תחנה 3 - חוף ברניקי פיתוח חופים סובב-כנרת

גידול באוכלוסיה והדרישה לפיתוח תיירותי סביב הכנרת מוביל ללחץ על הרשויות ומתן היתרים לבניה המקיפה את האגם, בניגוד לחקיקה המחייבת רצועת חוף של 50 מטר פתוחה לציבור הרחב. פנים שונות לאותה בעיה בחופים שונים.



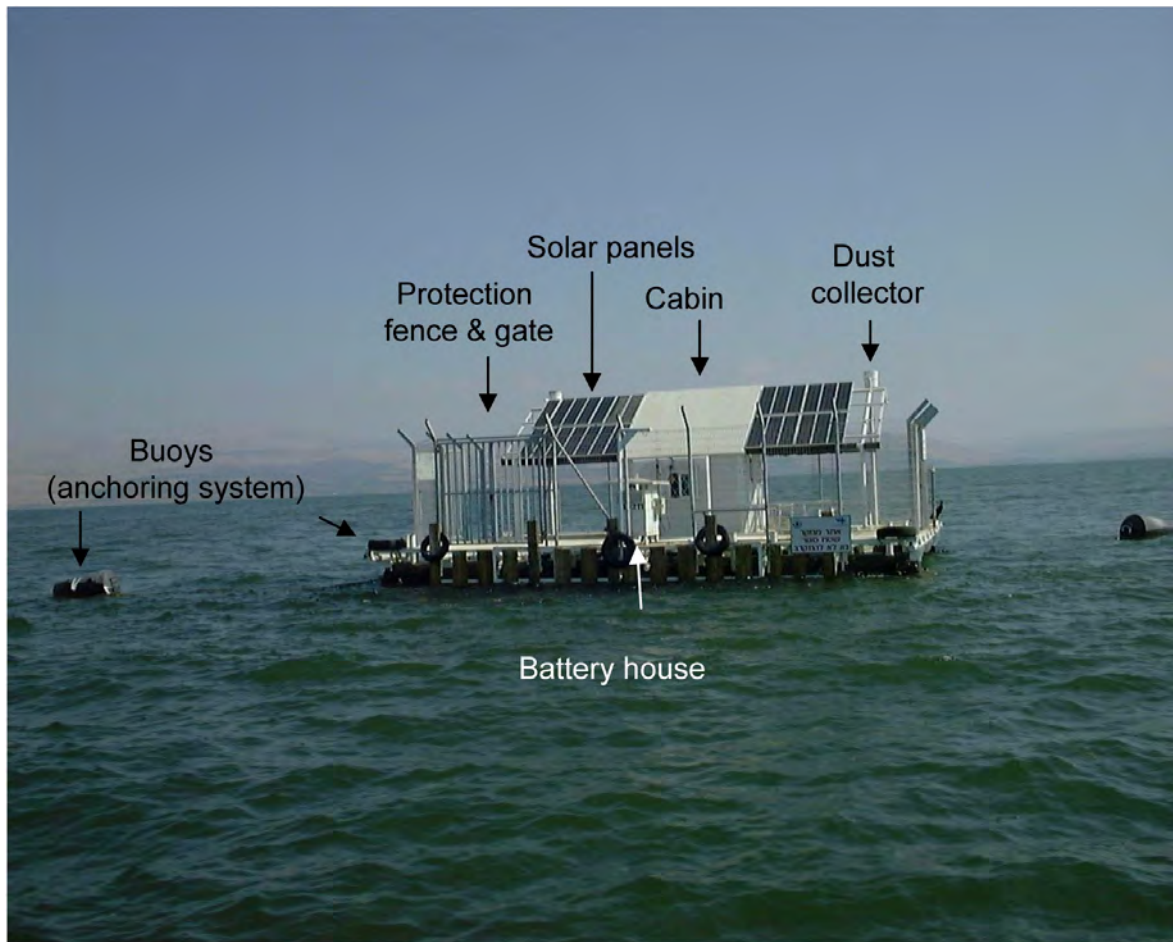
איור 1: למעלה: מפלסי הכנרת, 1926–2005. נתונים: השירות ההידרולוגי. למטה: השינויים בשטח פני האגם ובנפח האגם כפונקציה של המפלס.

תחנה 4 - המעבדה לחקר הכנרת והפלגה ל'אקורפט'

מעקב מדעי, על ידי ניטור שוטף ומחקר השלובים זה בזה הם דרך לשמירה על הדופק של הכנרת. המעבדה לחקר הכנרת קבלה על עצמה תפקיד זה ומבצעת אותו ברציפות מאז 1969. בשנים האחרונות השתכללו אמצעי הניטור ונתווספו אמצעי ניטור אוטומטיים המאפשרים מעקב בזמן כמעט אמיתי אחר הנעשה במרכז האגם. נפליג על ספינות המחקר של המעבדה ל'אקורפט' הרפסודה האקולוגית שבמרכז האגם - להתרשם ממספר אמצעי דיגום חדשניים אלו.

תחנה 5 - הירדן ליד שרידי 'גשר הדזדות' הקשר בין אגן ההיקוות לאגם

נסייר ברגל לאורך קטע של הירדן ההררי, נשוחח על ההבדלים בין ההרכב הכימי של מי הירדן ומי הכנרת, על מקורות הזיהום לכנרת ודרכי מניעתם. על המעקב אחרי כמויות ואיכויות המים המגיעים לכנרת.



איור 2: האקורפט במרכז הכנרת. לפרטים נוספים: Wagner et al. 2005

תחנה 6 - מעגן הדייג בעין-גב

אחת הדרכים הנוספות להתערבות האדם המערכת האקולוגית של הכנרת היא על ידי ניהול ממשק הדייג, אכלוס דגיגים, שימת מגבלות על דייג (בזמן ובמרחב), "דילול" סרדינים, דייג יתר. נסקור נושאים אלו ואת הקשר בין ממשק הדייג לתפקוד המערכת האקולוגית של הכנרת. בתחנה זו נחזור גם לנושא המפלסים, כיצד מתקבלות החלטות מדינה לגבי הכמויות שישאבו מהאגם, ומה ידוע ולא ידוע של הקשר בין מפלסים לאקולוגיה של האגם והשינויים ביציבותו בשנים האחרונות.

מקורות

Wagner, U., Nishri, A., Sukenik, A., Zohary, T. 2005. Ecraft on Lake Kinneret. SIL News 46: 8–9.