

מבנים הידרו-פירוקלסטיים וסלעי מעמקים בצפון רמת הגולן

ישי וינשטיין

אוניברסיטת בר-אילן

מוטי שטיין

המכון הגיאולוגי, ירושלים

עודד נבון

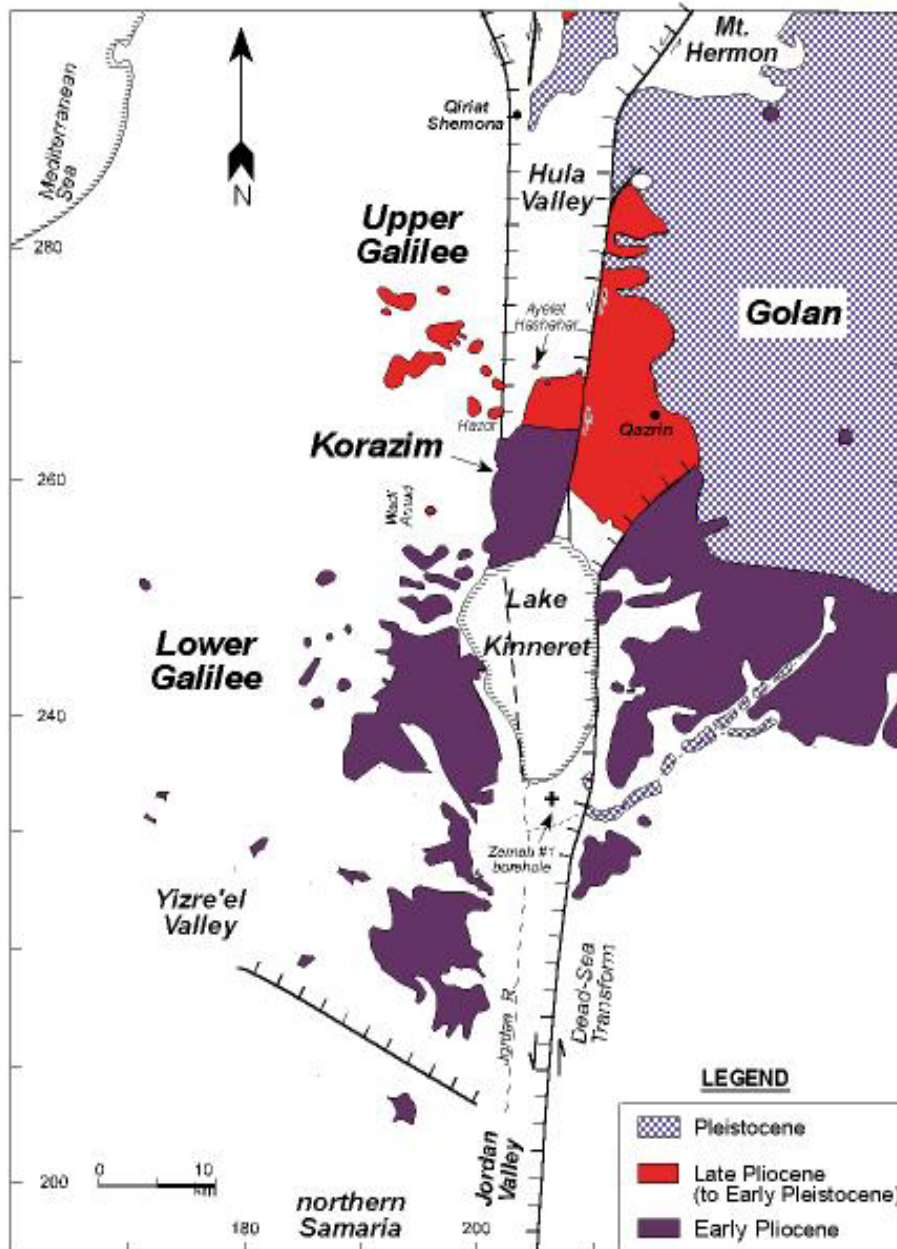
האוניברסיטה העברית, ירושלים

מבוא

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

הולקניזם הפליו-פלייסטוקני בצפון רמת הגולן

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

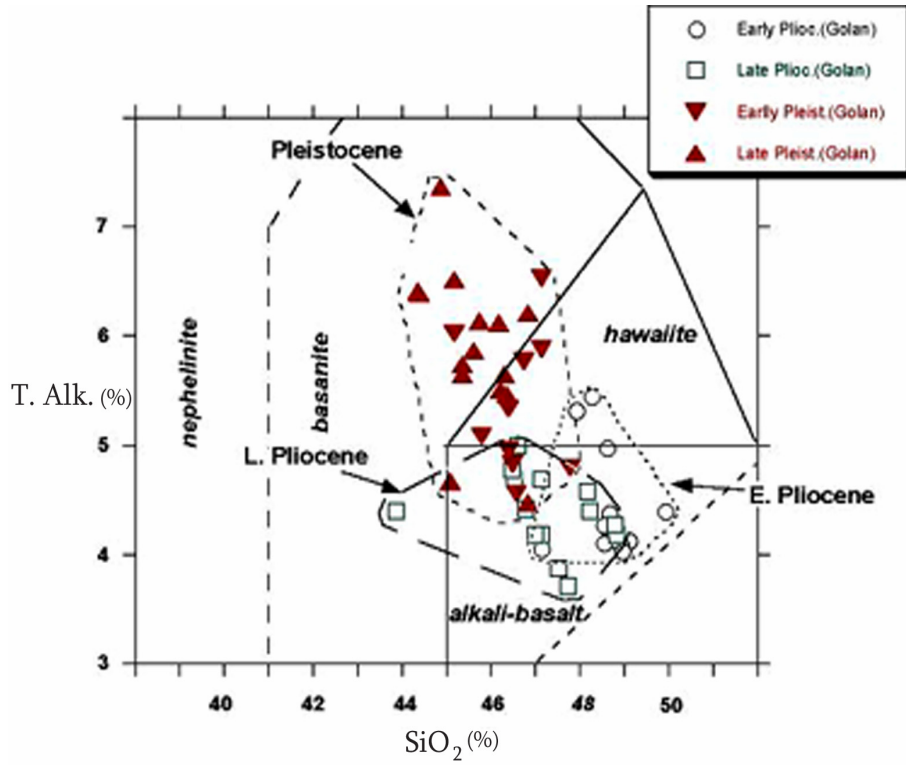
טוף בריכת רם - נמצא מסביב לבריכת רם; עתיר קסנוליטים ומגהקריסטים מעטפתיים וקרומיים.

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

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

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

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



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



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

פירוט תחנות הסיוור

א. קומפלקס האביטל

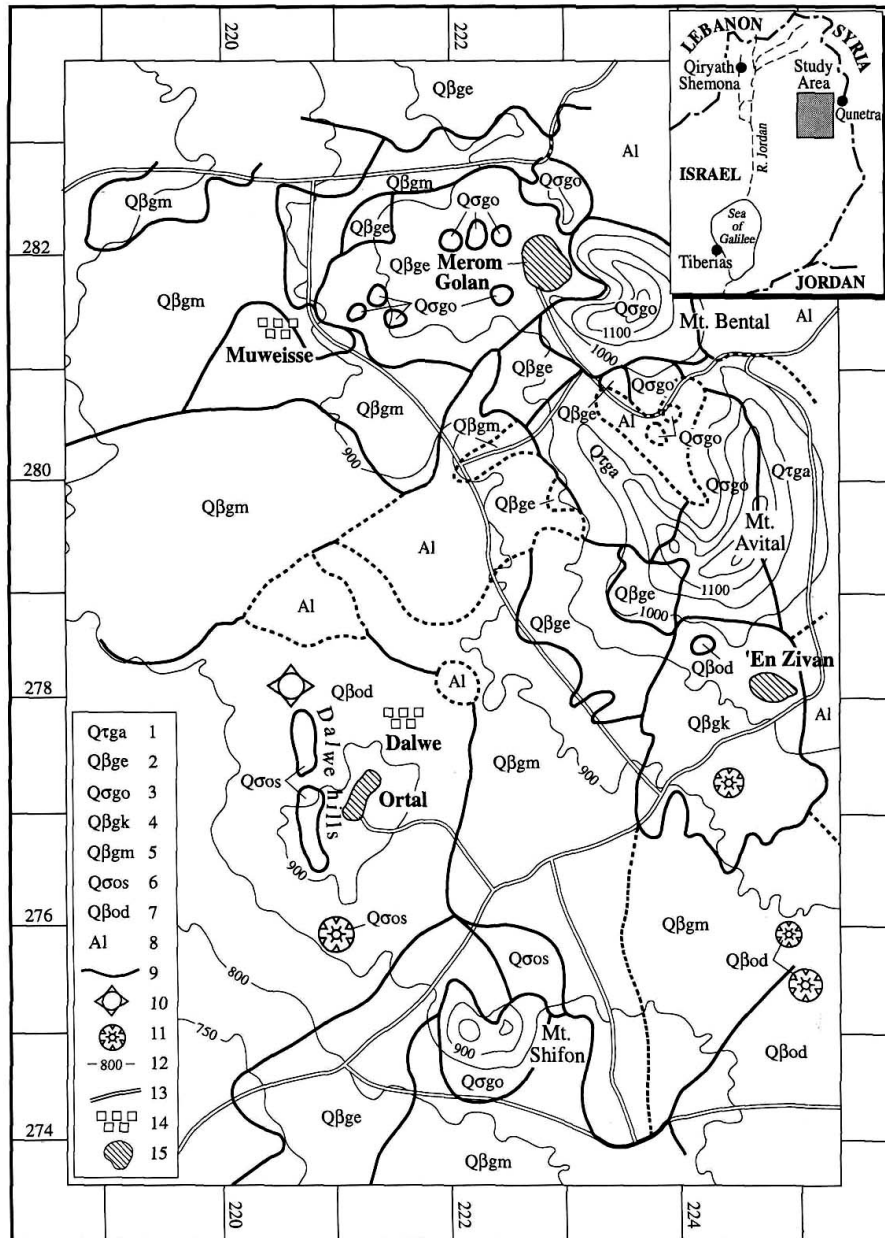
תחנה 1 : הר שיפון (נ.צ. 2222/2751)

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

2240/2793 טר 2231/2807

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



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

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

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

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

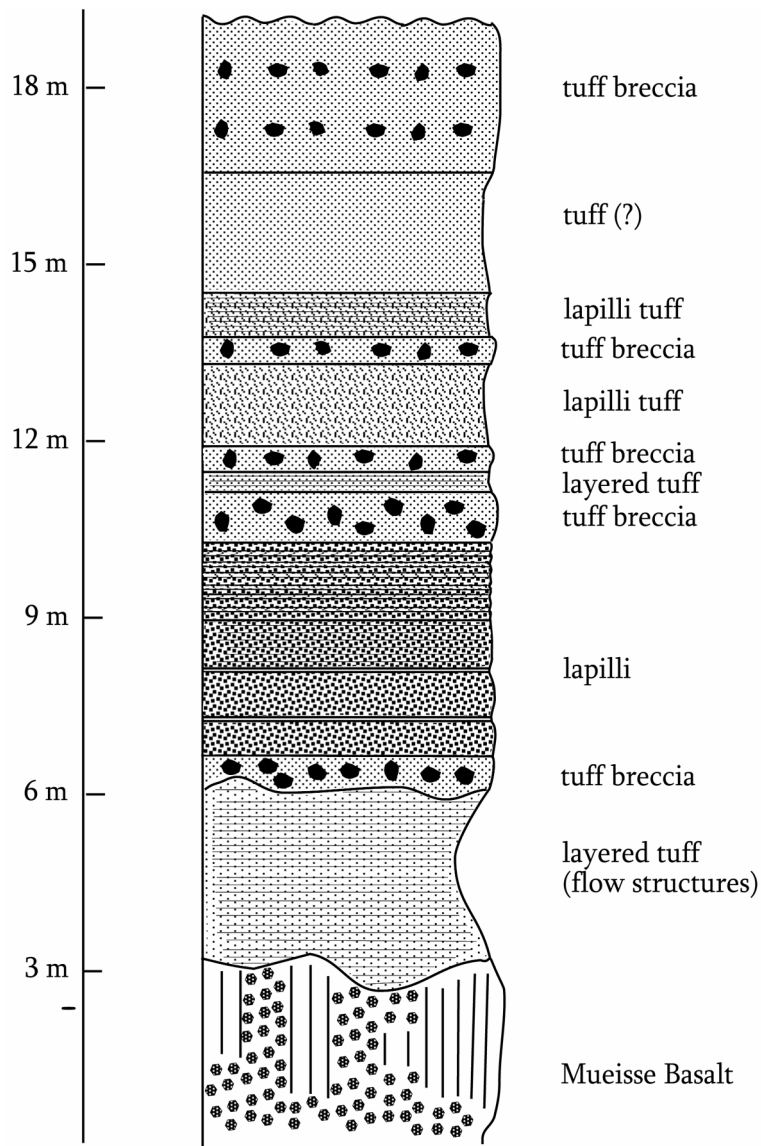
שברי בזלת קטנים, ללא כל חומר סקוריאלי. במעלה התעלה, מתגלה שכבת טוף לייתי (מלוכדת במידה מועטה) בין הטוף לבין הלפילי (איור 5).



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

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

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



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

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

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

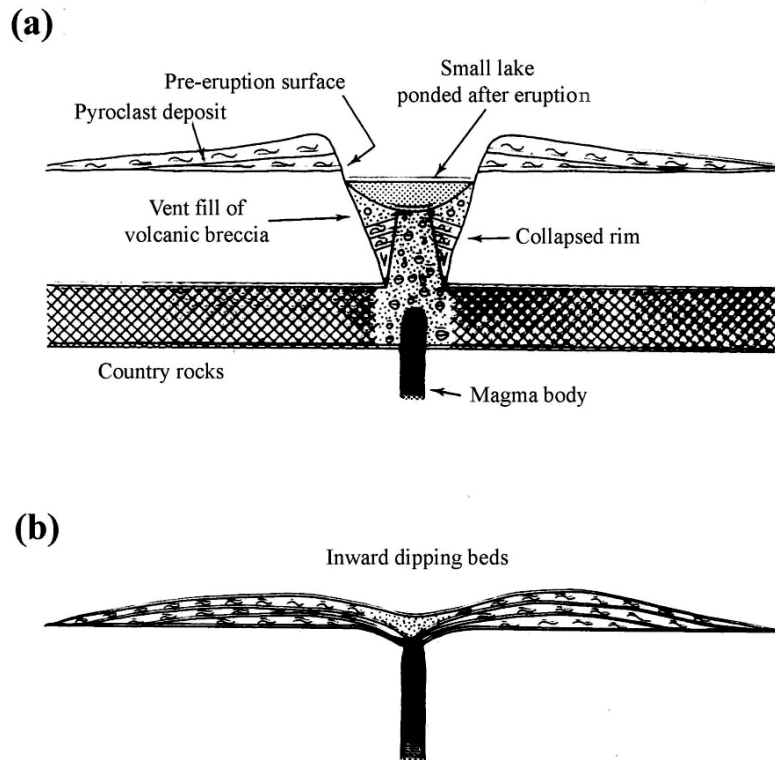
תחנה 5 : הר אביטל - מחצבות צפוניות (נ.צ. 2241/2810)

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

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

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

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



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

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

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

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

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

ב. בריכת רם

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

תחנה 7 : הר כרמים (נ.צ. 2227/2919)

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

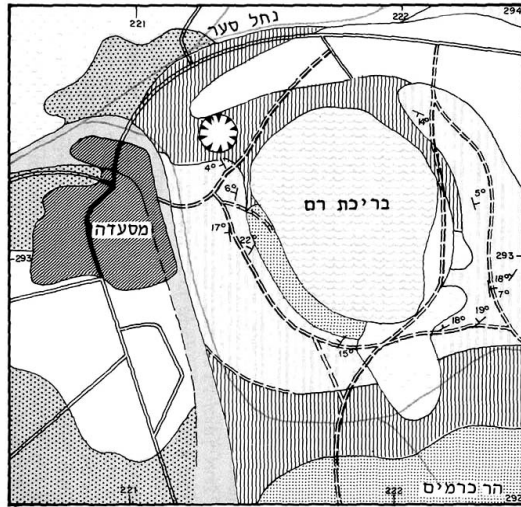


תמונה 5: ברכת רם, מבט מהר כרמים (דרום, תחנה מס' 7).

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

תחנה 8 : בריכת רם (נ.צ. 2219/2936)

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



מקרא

כביש	==
דרך עפר	---
נחל	~
ג'ובה	☼
דיפ	× _{10°}
קרקע	A1
בזלת סער	Qgs
טוף בריכת רם	Qrb
סקוריה אודם	Qso
בזלת כרמים	Qsk
בזלת עין-זיוון	Qze
סלעי משקע	s

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



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

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

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

מקורות

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

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

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