

## מאאר בריכת רם

**אורי שאנן<sup>1</sup>, מרדכי שטיין<sup>2</sup>, ישי ויינשטיין<sup>3</sup>, רמי וינברגר<sup>2</sup>, עודד נבון<sup>1</sup>**

1. המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית

2. המכון הגיאולוגי

3. המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בר-אילן

### הקדמה

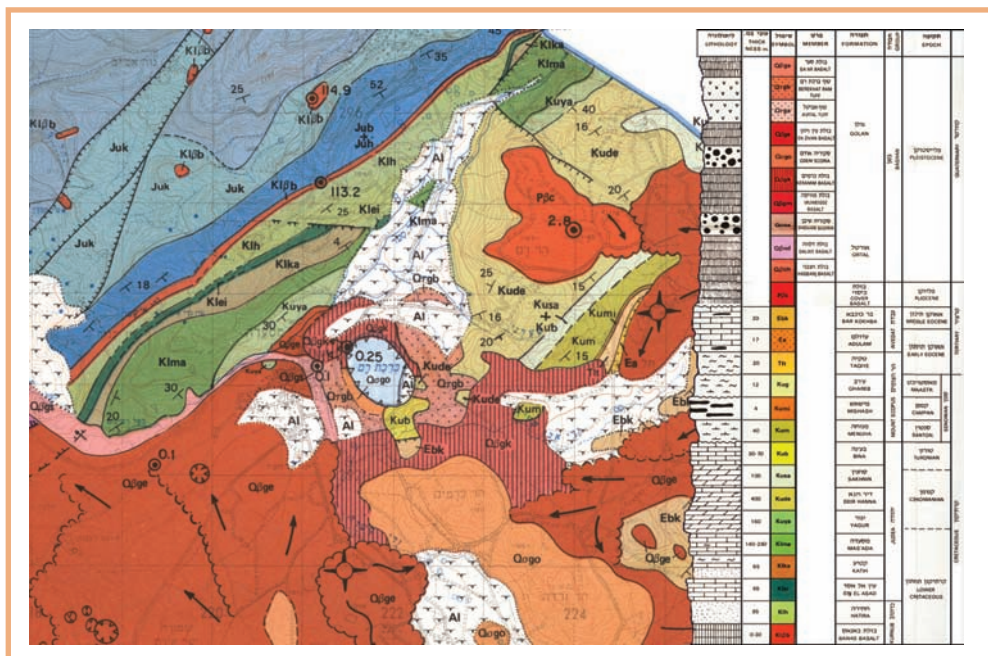
בריכת רם שבצפון הגולן, למרגלות החרמון, הינה שקע פיצוץ וולקני מטיפוס מאאר. האתר הינו חלון הידרו-וולקני שנפתח כתוצאה מהתפרצויות פריאטומאגמתיות אל מפלס מי התהום של בקעת יעפורי. שולי השקע, סביב לבריכה, מכוסים בטוף בריכת רם. טוף בריכת רם (אפר, טוף ולפילי להלן 'טוף') מורכב משברי הסלעים שהיו מצויים בחלל הלוע (הדיאטרמה) בתוספת החומר היובנילי שגרם להתפרצויות.

התפרצות פריאטומאגמתית מתרחשת כתוצאה מאינטראקציה של מים ומגמה ובה מומרת האנרגיה התרמית של המגמה לאנרגיה קינטית על ידי אידוי המים והגדלת נפחם. במידה והאינטראקציה של המים והמגמה מתרחשת קרוב לפני השטח, גידול הנפח של המים מביא להתפרצות אלימה הקורעת את פני השטח. שברי הסלעים שנגזרו במהלך התפרצות שכזו מהווים בדרך כלל את המרכיב העיקרי בחומר הפליטה של ההתפרצות.

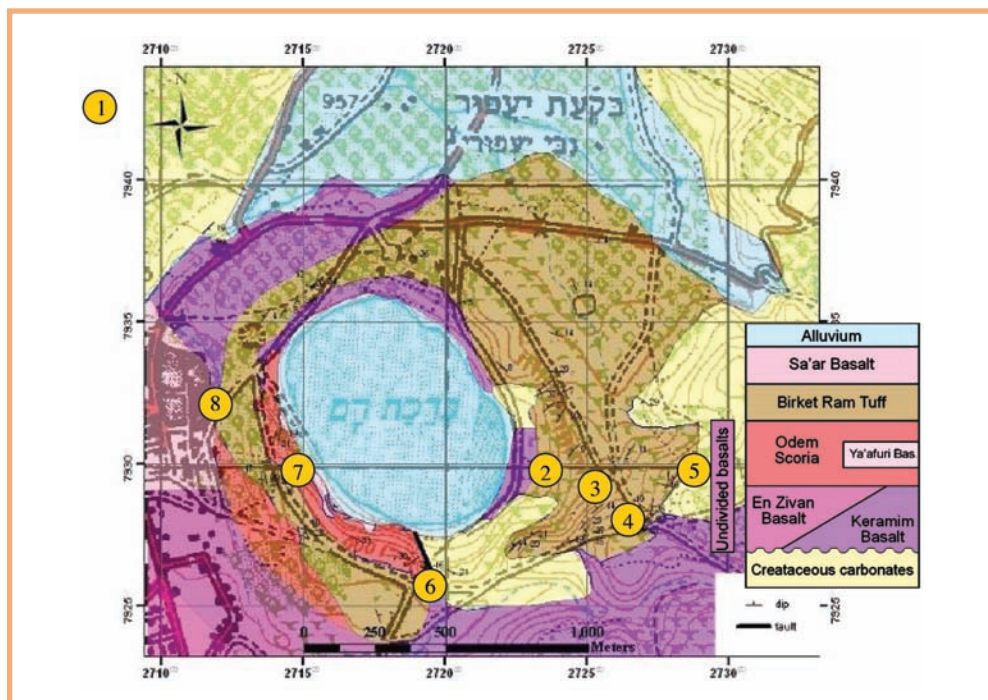
בנוסף לשברי הסלעים ולחומר היובנילי מכיל טוף בריכת רם מגקריסטים של האמפיבול קרסוטיט (Kaersutite) וקסנוליטים של פירוקסניטים וגרנוליטים מגבול קרום מעטפת ומהקרום התחתון (Mittlefehldt, 1984; Stein et al., 1993) בשכיחות גבוהה.

המסלע באתר כולל סלעים סדימנטריים מגיל קרטיקון המכוסים ברצפים וולקניים פלייסטוקניים של בזלות (בזניט) סקוריה וטוף (ראה תחנה 1 ואיורים 1, 2, 3).

בריכת רם הינה שקע אובלי (1000X1200 מ') הנמוך מסביבתו ב 120-30 מ'. גוף המים הינו רדוד (כ-10 מ') והוא מכסה על כ-90 מ' של משקעים אגמיים המורבדים על לפחות מספר עשרות מטרים של מילוי פירוקלסטי, ומתחתיו חתך בזלתי עבה (לפחות 180 מ'). האגם ומשקעיו, יחד עם החומר הפירוקלסטי שתחתם ממלאים את חלל הדיאטרמה, שהינה בור הפיצוץ המלא בחמרי פיצוץ והתמוטטות. הבריכה מוקפת טבעת טוף שנפלט מן הלוע ומכסה על הנוף שקדם להתפרצות.



איור 1. המפה הגיאולוגית והטור הסטריגרפי של אזור בריכת רם (מתוך גליון הר אודם. Mor, 1987)

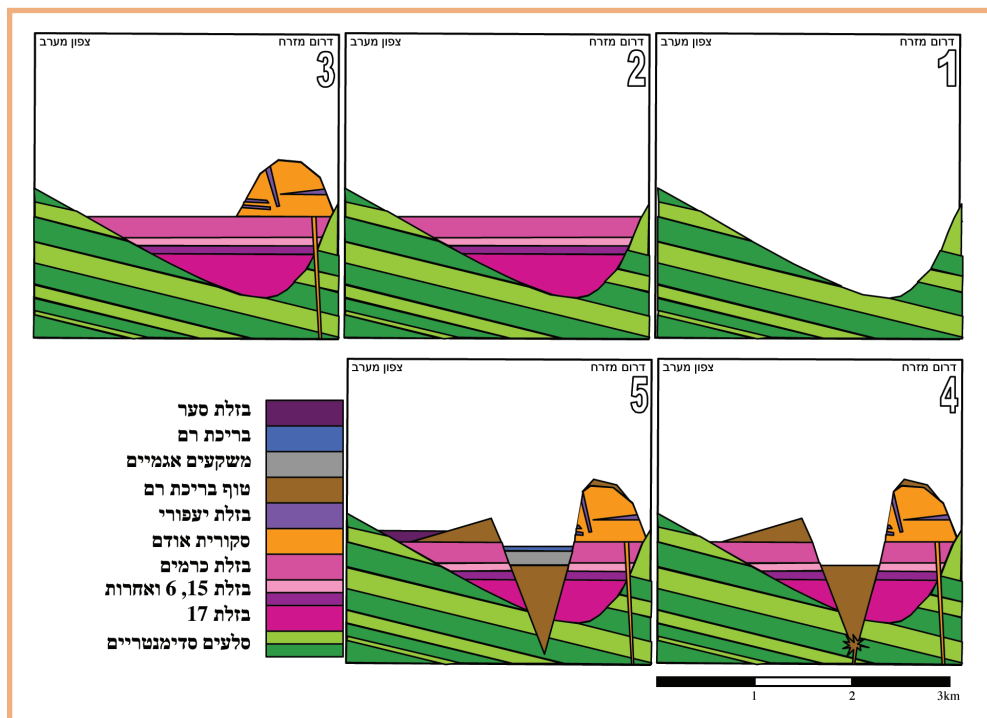


איור 2. מפה גיאולוגית של בריכת רם (שאנון, 2009)

## תחנה 1 ■ תצפית מהתיישבות הנח"ל נמרוד, (נ.צ. 270/794itm): ביצור צה"לי בציודו הדרומי של שער ההתיישבות

תצפית מגובה 1,400 מ' מעל פני הים (נח"ל נמרוד) אל בריכת רם וסביבתה (כ-950 מ'). בתצפית יוצגו מרכיבי הנוף כיום תוך התייחסות לכתובות ולשילובים בהתפתחותם.

התשתית הסדימנטרית באזור בריכת רם כוללת סלעים מגילי יורא, קרטיקון ואיאוקן. בריכת רם עצמה ממוקמת מעל עמק קדום הכולל את בקעת יעפורי שמצפונה (להלן: "עמק רם"), שהתמלא ברצפים וולקניים פלייסטוקניים. רוב הבזלות בעמק רם מוכרות גם מקידוחים באזור. בזלות אלו בטוף גם בזלות שאינן חשופות: בזלות 17, 15, ו-6. בזלת 17 מוכרת גם מקידוחים באזור. בזלות אלו מהוות את מילוי הראשוני של עמק רם, ועליהן קלחו בזלות עין-זיוון, כרמים תחתונה וכרמים עליונה. בדרום מערב המאאר נבנה על גבי בזלת כרמים עליונה תל (חרוט) של סקוריה אודם, ובו נמצאו מחדרים (דייקים, סילים) של בזלת יעפורי (איור 7). טוף בריכת רם מכסה את בזלת יעפורי, סקוריה אודם ואת בזלות עין זיוון וכרמים ויוצר טבעת היקפית לבריכה וכן מכסה חלק מבקעת יעפורי. מערבית למאאר מכוסה טוף בריכת רם על ידי קילוח בזלת סער (איורים 2, 3). בזלת סער מייצגת את האירוע הוולקני הצעיר באזור (Mor, 1993), והיא מצביעה על חזרה לוולקניזם יבש לאחר סיום הפעילות הפריאטומאגמתית באזור בריכת רם (איור 3).



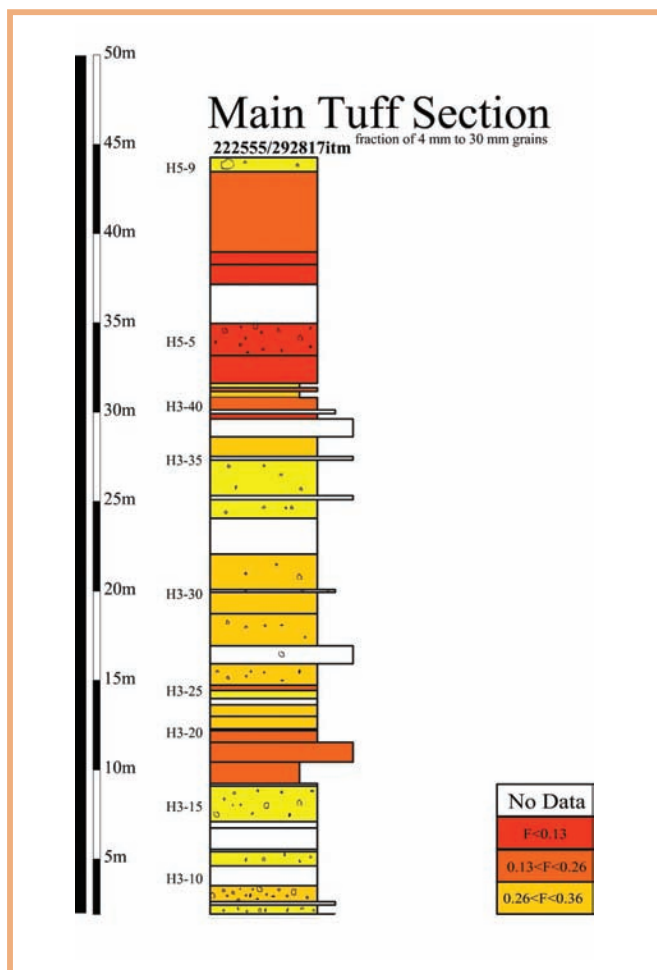
איור 3. תאור סכימאטי של שלבי התפתחות המבנה של מאאר בריכת רם.

1. שקע רם מוגבל מצפון במדרונות החרמון ומדרום ברכס פרה-בזלתי. השקע בשלב זה הינו בעל טופוגרפיה חריפה.
2. שקע רם מתמלא ברצף וולקני הכולל את בזלות 17, 15, ו-6 (הקבורות בתת הקרקע). הבזלת האחרונה שקולחת בעמק (טרם הווצרות המאאר) היא בזלת כרמים עליונה.
3. בתוך שקע רם, על גבי בזלת כרמים, מתפתח חרוט סקוריה המורכב מסקורית אודם ומחדרים של בזלת יעפורי.
4. אינטראקציה של מאגמה עם מים קרוב לפני השטח, הביאה להתפרצויות פריאטומאגמטיות וליצירת מבנה מאאר-דיאטרמה, החודר דרך החתך הוולקני והסדימנטרי ומכסה את פני השטח בטוף בריכת רם.
5. **א.** קילוח של בזלת סער מכסה את בזלת כרמים וטוף בריכת רם במערב.
- ב.** המאאר מהווה חלון אל מי התהום של בקעת יעפורי ובתוכו מצוי אגם המשקיע סדימנטים אגמיים.

## תחנה 2 ■ בסיס החתך העיקרי (נ.צ. 27207/7930itm)

**מתחנה זו ועד תום הסיור (תחנה 8) יהיה הסיור רגלי (למיטיבי לכת) ללא מפגש עם הרכב. תחנה 2 מצויה בדרום מזרח הבריכה, כ-50 מ' מחופה.**

בדרום מזרח הבריכה, משפתה ועד גובה של כ-100 מ' מעליה, חשוף רצף הטוף בעל העובי המירבי (46 מ', להלן 'החתך העיקרי'). חתך זה מכסה טופוגרפיה סדימנטרית ובזלתית שקדמה לו. הטוף בחתך מורכב בעיקרו מרסק סלעי הסביבה וממרכיב קטן יותר של החומר היובנילי שהביא לפיצוץ. החתך מאופיין בשכבות טוף בעלות אופי משתנה. גודל הגרגר בטוף משתנה בין טוף, לפילי וברקציה וולקנית. העבודה הגרנולומטרית על החתך העיקרי הראתה שינויים מחזוריים בגודל הגרגר של המטריקס הטופי ובנוכחות פרגמנטים הגדולים מ-30 מ"מ. שינויים אלה מעידים על שינויים בעוצמת ההתפרצויות הפריאטומאגמטיות. בחתך זה ניכרים לפחות שני מחזורים של עליה וירידה בעוצמת ההתפרצויות. חלק מן השכבות מכילות סטרוקטורות זרימה כשיכוב צולב, אנטי דיונות ושינויי עובי (התייטדות). נוכחות של פרגמנטים גדולים בשכבות המכילות סטרוקטורות זרימה מציעה קיום שני מנגנוני הובלה של חומר וולקניקלאסטי שפעלו במקביל, האחד - של מעוף בליסטי, והשני - של נחשולים וולקניים (base surge).



איור 4. החתך העיקרי בטוף, עליו מסומן חלקה המשקלי של קבוצת גודל גרגר 30-4 מ"מ. כמו כן מאוירים שברי סלע (גדולים מ-30 מ"מ) שנמצאו לאורך מטר אופקי אקראי בכל שכבה בחתך.

### תחנה 3 ■ אמצע החתך העיקרי, (סמוך ל H3-34) אמפיבול ופריאטומגמתיזם (נ.א. 27251/79258itm):

טוף בריכת רם מכיל גבישים של אמפיבול (המופיעים כמגקריסטים, איור 5) וקסנוליטים של גרנוליטים ופירוקסניטים מקרום תחתון וגבול קרום/מעטפת בשכיחות גבוהה יחסית (Mittlefehldt, 1984; Stein, et al., 1993). גם המגקריסטים וגם הקסנוליטים עלו עם החומר היובנילי של הטוף וקיים מתאם בשכיחות שתי הקבוצות (איור 6). גבישי אמפיבול בהרכב זהה לזה של המגקריסטים מצויים גם כפנוקריסטים בבזלת האחרונה שקלחה באתר קודם להתפרצויות הפריאטומגמתיות (בזלת כרמים). האמפיבולים של בזלת כרמים עליונה מכילים אינקלוזיות אוליבין שהרכבן מתאים להרכב המיקרופנוקריסטים האוליביניים, המאפיינים בזלת זו. תצפיות אלו מעלות את האפשרות שהמגמות

שיצרו את בזלת כרמים ואת הטוף הכילו מים בכמות המאפשרת גיבוש של אמפיבול. שילוב של גיבוש חלקי של מאגמה כזו עם ירידת הלחץ והטמפרטורה הכרוכים בעליית הנתך, העלו את ריכוזי הנדיפים בד בבד עם הורדת מסיסותם במאגמה. שילוב גורמים אלו עשוי היה להביא לנוקליאציה של בועות עם עליית המאגמה ובכך להוריד את צפיפותה ולשנות את הריאולוגיה שלה (Lensky et al., 2006).

פיצוץ פריאטומאגמתי יעיל יתרחש כתוצאה מאינטראקציה טובה של מים חיצוניים עם הנתך העולה. בדרך כלל מתפתחת במגע הנתך עם המים שכבת קיטור (vapor film) המסוככת ומבודדת את המאגמה מהמים החיצוניים ובכך עשויה למנוע את הערבוב ולהוריד מיעילות הפיצוץ (Sheridan and Wohletz, 1983; Trigila et al., 2007; Francis P., 1993). מאגמה הטרוגנית עשירה בבועות, העולה במהירות גבוהה יחסית בשל כוח הציפה המוגבר, עשויה להתקשות בשמירה על רציפות שכבת הקיטור המבודדת ובכך לאפשר אינטראקציה טובה עם מים חיצוניים (Trigila et al., 2007). מוצע כי הנוכחות של הבועות במגמה שהביאה ליצירת הטוף הביאה לנוקליאציה של בועות ולאינטראקציה מוגברת עם מי תהום, אשר גרמה להתפרצויות הפריאטומאגמטיות.

כוח הציפה המוגבר והיווצרות הבועות עשויים גם להעלות את הלחץ בצינור המאגמה ולגרום לסידוק בסלעי הסביבה. סידוק זה עשוי לאפשר הובלה טובה יותר של המים החיצוניים אל הנתך הוויקולרי. לסידוק ולריאולוגיה השונה בשל תכולת המים הגבוהה עשוי אף להיות תפקיד בגזירת קסנוליטים (Lensky et al., 2006). השכיחות הגבוהה של קסנוליטים בטוף (ובבזלת כרמים) מהווה עדות תומכת ובלתי תלויה לאגרסיביות של מאגמות אלו. נוכחות של 'קסנוליטים רדודים' של (בזלות עתיקות) בתוך בזלת כרמים מעידה על זרימה 'אגרסיבית' גם קרוב אל פני השטח.



איור 6. החתך העיקרי, עליו מסומנות השכבות בן נמצאו מגקריסטים של קרסטיט או קסנוליטים.

איור 5. מגקריסט של אמפיבול קרסטיטי שהוצא מן החתך העיקרי, טוף בריכת רם.

## תחנה 4 ■ ההיסטוריה המגמתית של ברכת רם: מסוף הפרוטרוזואיקון ועד הרביעון (נ.צ. 27253/79256itm):

### רום החתך העיקרי

הסלעים הוולקניים (בעיקר טופים קוורטרים) בברכת רם מכילים מאסף מגוון של מגה קריסטים (לרוב קרסוטיטים) ושל קסנוליטים של פירוקסניט, אמפיבול-פירוקסניט ושל גרנוליטים מאפיים. האחרונים מהווים דוגמאות שנקרעו מסלעי הקרום התחתון באיזור. קסנוליטים אלה מורכבים בעיקר מקלינופירוקסון, פלגיוקלז וגרנט ומראים טקסטורות מטמורפיות-גרנולריות. הקסנוליטים מראים יחסים איזוטופים של  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ושל  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  השונים מהסלעים הוולקניים המארחים. בדיאגרמת האיזוכרון (בשיטת Sm-Nd) הם נופלים על קו נטיה המתאים לגיל של הפרוטרוזואיקון המאוחר-600±100 מליוני שנים בדומה לקוי נטיה של מאספי קסנוליטים גרנוליטים מאפיים אחרים (למשל מהר הגעש בקרני חטיין וולקנים אחרים בערב הסעודית). לעומת זאת איזוכרון מינרלים מציע ש"מ איזוטופי שמשקף זמן חימום צעיר ופתיחה של המערכת האיזוטופית. חימום הקשור כנראה לארועים הוולקניים הצעירים באיזור. ההרכבים הכימיים של הקסנוליטים מעידים על כך שהם נוצרו כקומולטים מתוך מגמות בזלתיות אולם יחסי הראשית של הגרנוליטים במערכות האיזוטופיות של Nd-Sr מצביעים על כך שמגמת המקור שלהם שונה מזאת של הבזלות הקנוזואיות (שכשלעצמם נגזרו כנראה מהמעטפת הליתוספירית) והיא דומה יותר לבזלות מטפוס MORB (למעשה מהווה תוצר ערוב בין שני מקורות אלה).

נתונים אלה מעלים את האפשרות שהקסנוליטים של הגרנוליטים המאפיים מייצגים מגמות אסטנוספיריות שעלו אל מעמקי הקרום היבשתי באיזור בשלבים מאוחרים של התפתחות השילד הערבי-נובי.

ההיסטוריה המגמתית של ברכת רם מתחילה עם כן בפרוטרוזואיקון המאוחר עת התגבשו הקומולטים הבזלתיים ונמשכה עד לתקופת הרביעון עת התפרצו הוולקנים הצעירים והעלו את הקסנוליטים אל פני השטח.

## תחנה 5 ■ תארוך לומיניסנציה של פליאוסול קלקריטי (נ.צ. 27258/79300itm):

### תחנה זו מצויה ממזרח לחתך העיקרי, במגע הטוף עם סלעי קרבונט

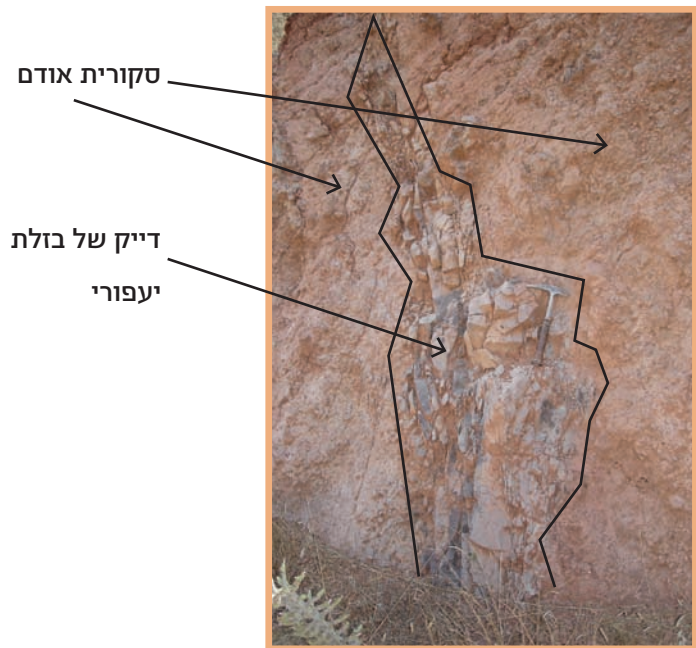
בנקודה זו מונח הטוף על פלאוסול קלקריטי של סלעי קרטיקון. תיארוך OSL (נעמי פורת, המכון הגאולוגי) של קוורץ איאולי מן הפלאוסול נתן גיל של  $166 \pm 15 \text{ ka}$  (Shaanan et al. 2008). מתוך גיל זה אנו מסיקים כי הטוף צעיר מ-180 ka. גיל זה עומד בהתאמה עם גיל Ar-Ar של בזלת כרמים עליונה ( $223 \pm 3 \text{ ka}$ ) (Goren-Inbar, 1985; Feraud et al., 1983), אשר אף היא קדמה לטוף. תיארוך הפליאוסול מהווה חסם לגיל המירבי (העתיק ביותר) של ההתפרצויות הפריאטומגמתיות וליצירת המאמר.

**תחנה 6 ■ העתק בדרום המאאר (נ.צ. 27159/79253):**  
**תצפית מן האוכף בשולי המאאר הדרומיים. הגעה אל התחנה בהליכה על שוליו הפנימיים של המאאר.**

בדרום המאאר מצוי העתק, שניכרת בו זריקה ששיעורה עולה על מספר מטרים. ההעתק מציב את החתך הוולקני מול חתך קרבונטי מגיל טורון (איורים 1, 2). כיוון ההעתק הוא צפון-מערב וכיוונו תת-מקביל לזה של השורה המזרחית של תלי הסקוריה בצפון הגולן, שבריכת רם ממוקמת בקצה הצפוני שלה. כיוון ההעתק אף מקביל לציר ההתארכות של המאאר. ההעתק עשוי להוות ציר ניקוז של מי תהום אל המאגמה, שאפשר שאף היא עלתה לאורך ההעתק. מאארים נוצרים בדרך כלל כשמאגמה עולה לאורך מישור סדק ופוגשת מי תהום (Martin et al., 2007). תרחיש דומה מתואר במאאר Narkoy שבמרכז לוח אנטוליה (Gevrek and Kaznci, 2000).

**תחנה 7 ■ תל הסקוריה ובזלת יעפורי (נ.צ. 27150/79300):**  
**התחנה תעבור כסיוור 'שוטטות' בתל הסקוריה והתבוננות משותפת במופעי הבזלת המשולבים בתוכו.**

בדרום-מערב המאאר מצוי תל של סקוריה אודם הגדוע על ידי המאאר והמכוסה על ידי טוף בריכת רם. בתוך תל הסקוריה משולבים מחדרים של בזלת יעפורי. תפוצתה של בזלת יעפורי מוגבלת לתל הסקוריה.



איור 7. דייק של בזלת יעפורי חזור בסקורית אודם בדרום מערב המאאר.



## תחנה 8 ■ בזלת סער ומסגרת הזמנים של ההתפוצצויות הפריאטיות (נ.צ. 27104/79304itm):

ואדי אבו-סעיד, תחת הבתים הצפון מזרחיים של הכפר מסעדה.

מצפון מערב לבריכה (22120/27110itm), בצידו המערבי של ואדי אבו-סעיד מצוי חתך H6 (איורים 2 ו-8), הכולל טוף הנתון בין בזלת כרמים (תחתיו) ובזלת סער (מעליו). חתך זה מגדיר את הגבולות הסטרטיגרפיים של ההתפרצויות הפריאטומגמתיות. גילה של בזלת כרמים עליונה נקבע בשיטת Ar-Ar על ידי Feraud et al. (1983) ל- $223 \pm 3$  ka. וגיל בזלת סער באזור נקבע בשיטת K-Ar ל- $140 \pm 80$  ka (Mor, 1993). עבודת לומיניסנציה על גרגרי קוורץ שהכילה שכבת הטוף העליונה בחתך, עליה קלחה בזלת סער, נתנה גיל של  $115 \pm 13$  ka (שאנן 2009). גיל זה מפורש כגיל קילוח בזלת סער, מתוך ההנחה כי החום של קילוח זה איפס את סיגנל הלומינסנציה של גרגרי הקוורץ בשכבת הטוף מתחת.

אם מוסיפים לחסם הגיל של קילוח בזלת סער את גיל הפליאוסול של חתך H7 המוצג בתחנה 5, מתקבל חלון זמן של 80,000 שנה שבין  $166 \pm 15$  ka ל- $115 \pm 13$  ka, בתוכו התרחשו ההתפרצויות הפריאטומגמתיות ונוצרו המאאר וטוף בריכת רם.

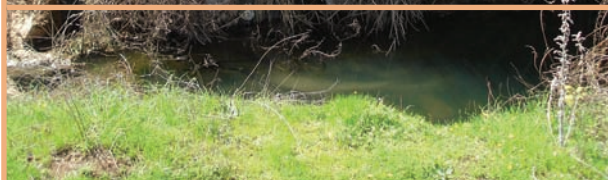
קילוח סער



טוף ברכת רם



בזלת כרמים עליונה



איור 8: חתך H6 מציג שכבות טוף הכלואות בין בזלת כרמים עליונה (מתחת) וקילוח בזלת סער (מעל) בדרום מערב המאאר.

**רשימה ביבליוגרפית**

שאנן א., 2009. מאאר בריכת רם. חיבור לשם קבלת תואר 'מוסמך' במחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

Feraud G., York D., Hall C. M., Goren N., Schwarcz H. P., 1983.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age limit for an Acheulian site in Israel. *Nature*. 304, 263-265.

Francis P., 1993. *Volcanoes, a planetary perspective*. Oxford University Press, Walton st' Oxford, pp. 128.

Gevrek A. I., and Kazanci N., 2000. A Pleistocene, pyroclastic-poor maar from central Anatolia, Turkey: influence of a local fault on a phreatomagmatic eruption. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 95, 309-317.

Goren-Inbar N., 1985. The lithic assemblage of the Berekhat Ram Acheulian site, Golan Heights. *Paleorient*. 11, 7-28.

Lensky N. G., Niebo R. W., Holloway J. R., Lyakhovsky V., Navon O., 2006. Bubble nucleation as a trigger for xenolith entrapment in mantle melts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 245 (1-2), 278-288.

Martin U., Németh K., Lorenz V., White J. D. L., 2007. Editorial Introduction: Maar-diatreme volcanism. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 159. 1-3.

Mittlefehldt D. W., 1984. Genesis of clinopyroxene-amphibole xenoliths from Birket Ram: trace element and petrologic constraints. *Contrib. Mineral. Petrol.* 88, 280-287.

Mor D., 1987. The geological map of Israel, Har Odem. Geological Survey of Israel, sheet 2-II, scale 1:50,000, 1 sheet.

Mor D., 1993. A time-table for the Levant Volcanic Province, according to K-Ar dating in the Golan Heights, Israel. *J. Afr. Earth Sci.* 16, 223-234.

Shaanan U., Porat N., Navon O., Weinstein Y., Weinberger R., 2008. OSL dating of the phreatomagmatic eruptions at the maar of Birket Ram. IGS Annual Meeting.

Sheridan M. F., Wohletz K. H., 1983. Hydrovolcanism: Basic considerations and review. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 17, 1-29.

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.

Trigila R., Battaglia M., Manga M., 2007. An experimental facility for investigating hydromagmatic eruptions at high-pressure and high-temperature with application to the importance of magma porosity for magma-water interaction. *Bull. Volc.* 69, 365-372.