



מדריך סיורים

כנס החברה הגיאולוגית • כינר 2015

ד' – ו' בניסן תשע"ה, 24-26.03.2015
כנס החברה הגיאולוגית הישראלית
כינר 2015

מדריך סיורים



עריכה: אולגה זלטקין, ישי ווינשטיין, ירון קציר

חברי ועד החברה הגיאולוגית הישראלית 2014-2015

נשיא – ישי וינשטיין

סגן נשיא – ירון קציר

מרכז פעולות – איאד סוואד, אורן פרידהיים

גזברית בפועל ואחראית תקצירים - יעל לוינסון

גזבר – יואב נחמיאס

מזכיר הועד – סיימון עמנואל

מרכזת סיורים – אולגה זלטקין

אחראי אתר אינטרנט – עמרי דביר

ועדת הביקורת – מאיר אבלסון, אמיר שגיא, רונית קסל

העריכה גרפית והבאה לדפוס: זלטקין אולגה

תמונת שער: איאד סוואד

החברה הגיאולוגית הישראלית מודה למוסדות ולגופים הבאים על תמיכתם ותרומתם לכנס השנתי בכינר 2015:

המכון הגיאולוגי	
המכון הגיאופיסי לישראל	
המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית	
בית הספר למדעי הים, אוניברסיטת חיפה	
המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה, אוניברסיטת בן גוריון	
המחלקה לגאוגרפיה וסביבה, אוניברסיטת בר-אילן	
המרכז הישראלי לחקר הים התיכון	
מרכז מדע ים המלח והערבה	
מפעלי ים המלח בע"מ	
מפעלי ים המלח בע"פ	
ZION OIL & GAS	
ISRAEL ENERGY INITIATIVE	
כימיקלים לישראל בע"מ	
חברת רציו חיפושי נפט בע"מ	
רותם אמפרט נגב בע"מ	
גיא-פרוספקט בע"מ	
ד"ר עמיר אידלמן - גיאולוג	
אבנר חיפושי נפט בע"מ	
חברת דלק	
פיקוטק	
ד"ר גוליק	
אפק	
רניום	

Valentin A. Krassilov

ד"ר ולנטין קרסילוב ז"ל

2015 - 1937



Valentin Krassilov was born in Kiev, Ukraine. His Ph.D. thesis on Early Cretaceous flora of Primorye (Far East) was carried out at the Institute of Geology in Moscow, and his D.Sc. thesis on the paleoecology of terrestrial plants and stratigraphy of continental deposits was submitted to the Institute of Geology and Geophysics, Acad. Sci. USSR, earning Prof. Krassilov knowledge and experience in geology, tectonics, sedimentology and paleoclimate in addition to paleobotany. He was Head of the Paleobotany Laboratory in Vladivostok during 1971-1989 and nominated professor in paleontology and stratigraphy in 1983.

Thereafter (1989-1994) he was the director of the All-Union Institute of Nature Conservation (Moscow) and from 1994 became Head of Paleobotany Department (Russian Acad. Sci., Moscow).

After immigrating to Israel, he joined the Haifa University at the end of 2001 as professor of paleobotany at the Institute of Evolution, where he studied the Lower Turonian, Lower Cretaceous, and Middle Jurassic flora of the Middle East based mainly on Israeli material. There he established a large collection of Israeli fossil plants, probably the richest collection of this kind in the region. His research on the evolution, ecology, and functional morphology of diverse floral groups, published in numerous articles and books, gave him status as the leading specialist in this field. During the last four years, he collected fossil plants of the Middle Jurassic age at Makhtesh Ramon, which were deposited in marshes along the southern Tethys coast. The vast amount of material was documented, photographed, and partially described. He raised the paleobotanical research in Israel to modern and high standards, placing Israel among the countries with rich and diverse fossil assemblage of great significance for Mesozoic plant paleobiogeography and evolution. Professor Krassilov published 190 scientific papers, including 24 books.

Colleagues and friends of Prof. Krassilov express their deepest sympathy to his wife Sophia Barinova (a plant scientist as well at Haifa University) and his daughter Katherine. He will be sincerely missed.

פרופ' עמנואל עצמון ז"ל**1929 - 2015**

עמנואל נולד בירושלים ב-1929, התחנך בחינוך דתי, ושירת בפלמ"ח מ-1948 עד 1950. בשנת 1951 עבר לארה"ב ללימודי תואר ראשון באוניברסיטת UCLA בקליפורניה, ובה המשיך ללימודי תואר שני ושלישי. ב-1968 גויס עמנואל עצמון מארצות הברית, שם עבד בסוכנות החלל, לאוניברסיטת בן גוריון בנגב אשר נקראה אז "המכון להשכלה גבוהה בנגב", והיתה תחת חסות האוניברסיטה העברית. הוא נמנה על מייסדי האוניברסיטה ולא מעט דברים באוניברסיטה ובמחלקה לגיאולוגיה שמובנים לנו כיום מאליהם, הם תולדה של הדברים שאותם הוא התחיל. כדי להקים אוניברסיטה ומחלקה לגיאולוגיה מהמסד צריך שילוב של אמונה רבה ושל כושר אילתור, ועמנואל ניחן בשניהם. האוירה הטובה והחברית, בין חברי הסגל ועם התלמידים, החלו בהשראתו כבר עם הקמת המחלקה והם קיימים עד היום.

בתחילת דרכו, שימש עמנואל בו-זמנית כראש המחלקה הראשון של המחלקה לגיאולוגיה, כדיקן הסטודנטים, כמזכיר אקדמי וכיו"ר ועד הסגל האקדמי, וגם בתפקידיו אלו הוא הטביע את חותמו. בהמשך הוא כיהן גם כמנהל היחידה לקרמיקה וזכוכית שהוקמה ברשות למחקר ופיתוח, וכן פעם נוספת כראש מחלקה. כראש המחלקה הראשון היה עמנואל חייב לדאוג לכל דבר. הוא קלט את אנשי הסגל הראשונים שלה, הן האקדמי והן הטכני והמנהלי, ובמידה רבה הוא גם הגדיר את תכנית הלימודים הראשונה של המחלקה. הוא יזם את הקמת מעבדת השיקפים ומעבדת קרני X, אירגן את אוספי הסלעים והמינרלים להוראה, וכן רכב למחקר. בין אנשי הסגל הוא השתדל גם לקלוט עולים חדשים. המחקרים של פרופסור עמנואל עצמון עסקו במגוון רחב של נושאים סדימנטולוגיים, חלקם עסקו בשאלות הקשורות לסדימנטים בישראל וחלקם באזורים אחרים.

עמנואל פרש לגמלאות בשנת 1999, אך המשיך ללמד בהתנדבות, עסק במחקר ובתמיכה במדענים עולים שהגיעו למחלקה. עם פרישתו התפנה עמנואל לפיתוח קריירה ספרותית שכללה למעלה מעשרה ספרים של פרוזה ושירה. פרופסור עמנואל עצמון היה איש צנוע וענו, חייכן, טוב לב, רודף שלום, איש אשכולות ובעל ידע רחב בתחומים רבים. המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה על עשרות תלמידיה ומאות בוגריה הממלאים תפקידים באקדמיה, תעשייה, וצבא היא פועל יוצא של המעשה החלוצי שבו החל עמנואל עצמון לפני כחצי מאה.

יהי זכרו ברוך

דד' אמנון רוזנפלד ז"ל**1944 - 2014**

חברנו היקר אמנון רוזנפלד נהרג בתאונת דרכים מצערת ביום חמישי ה-10.6.2014, בשעות הלילה בעת נסיעה בכביש מס' 6, בדרכו לירושלים מביקור אצל ילדיו. אשתו תמי נפצעה קשה, שהתה כחודשיים לאחר התאונה בבית-החולים תל-השומר וכחצי שנה בהליכי שיקום בבית לוינסטיין ברעננה. אנו מאחלים לה החלמה מלאה. אמנון השאיר בת ובן, שניהם נשואים וכן חמישה נכדים. קשה לנו לעכל את הבשורה המרה.



אמנון, יליד שנת 1944, נולד בעיר חיפה. הוא בוגר האוניברסיטה העברית ואת התואר הראשון סיים בשנת 1967 ובהמשך עשה בה את התואר השני. הוא סיים את עבודת הדוקטורט שלו באמצע שנות ה-70 בנושא אוסטרקודה באוניברסיטת קיל בגרמניה. עם חזרתו ארצה החל את דרכו המקצועית כחוקר בכיר בתחום הפלאונטולוגיה במכון הגיאולוגי בירושלים.

אמנון פרסם מאמרים רבים ומונוגרפיות העוסקים בעיקר בחקר האוסטרקודה של הקרטיקון והיורה ונחשב לחוקר מוביל בתחום ובעל שם עולמי. הוא פיתח את השימוש באוסטרקודה לצורך הגדרת גיל וסביבה והתמחה בכך בעיקר לצורך עבודות המכון שעסקו בקידוחי נפט וגז. הוא עסק גם בחקר אוסטרקודה של סביבות מליחות/ברקיות וממצאי עבודתו, משמשים עד היום את קהילת אנשי האוסטרקודה ככלי עיקרי לאיפיון סביבות ייחודיות אלה.

בשנים האחרונות, לאחר פרישתו, הוא עסק בעיקר במחקרים הקשורים לארכיאולוגיה תנכית בישראל ובעולם ופרסם מספר מאמרים חשובים ומעניינים בנושא זיהוי עתיקות.

אמנון היה חוקר מוכשר וחרוץ. הוא היה חבר מסור, אדם הגון, מלא חיים ומאיר פנים לרבים. כל חבריו ומוקיריו ינצרו את זכרו לעד.

חבריו במכון הגיאולוגי

רשימת סיורים:

1. שכבות הרס בחורבות סביב הכנרת: תרומה לפאליאוסייסמולוגיה,

פאליאומגנטיזם וכרונוסטרטיגרפיה.

אמוץ עגנון, ארז האסול, קייט רפאל, שמוליק מרקו, רון שער 13-32

2. הרצף הסדימנטרי, הכרונוסטרטיגרפיה והפלאוגיאוגרפיה

של המיוקן המאוחר בעמק הירדן המרכזי.

אלכסיס רוזנבאום, עזרא זילברמן, מרדכי שטיין, עמיר סנדלר,

דודן שקד-גלבנד, יוסי מורג 33-54

3. מבנה, שלבי התרוממות, ודגם האקסומציה של רכס החרמון:

תרמוכרונולוגיה בשיטת (U-Th)/He ותצפיות סטרוקטורליות וגיאומורפיות.

נועם יוסף חי, איתי חביב, יהודה אייל, רם וינברגר, וחיים בנימיני 55-92

4. וולקניזם של רמת דלתון.

דב לויטה ושמעון אילני 93-114

5. הגיאולוגיה של הרי אביטל ובנטל וגאוארכיאולוגיה ברמת הגולן.

דורון מור וחיים בן דויד 115-128

6. היבטים גאומורפולוגיים והידרולוגיים של נחלי הגולן.

נורית שטובר-זיסו ומשה ענבר 129-150

דוחות 151-155

סיור מספר 1:

**שכבות חורבן סביב הכנרת: תרומה לפאליאוסיסמולוגיה,
פאליאומגנטיזם וכרונוסטרטיגרפיה
אמוץ עגנון¹, ארז האסול¹, שמוליק מרקר², קייט רפאל¹, רון שער¹, נטע וכסלר²**

(1) המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית

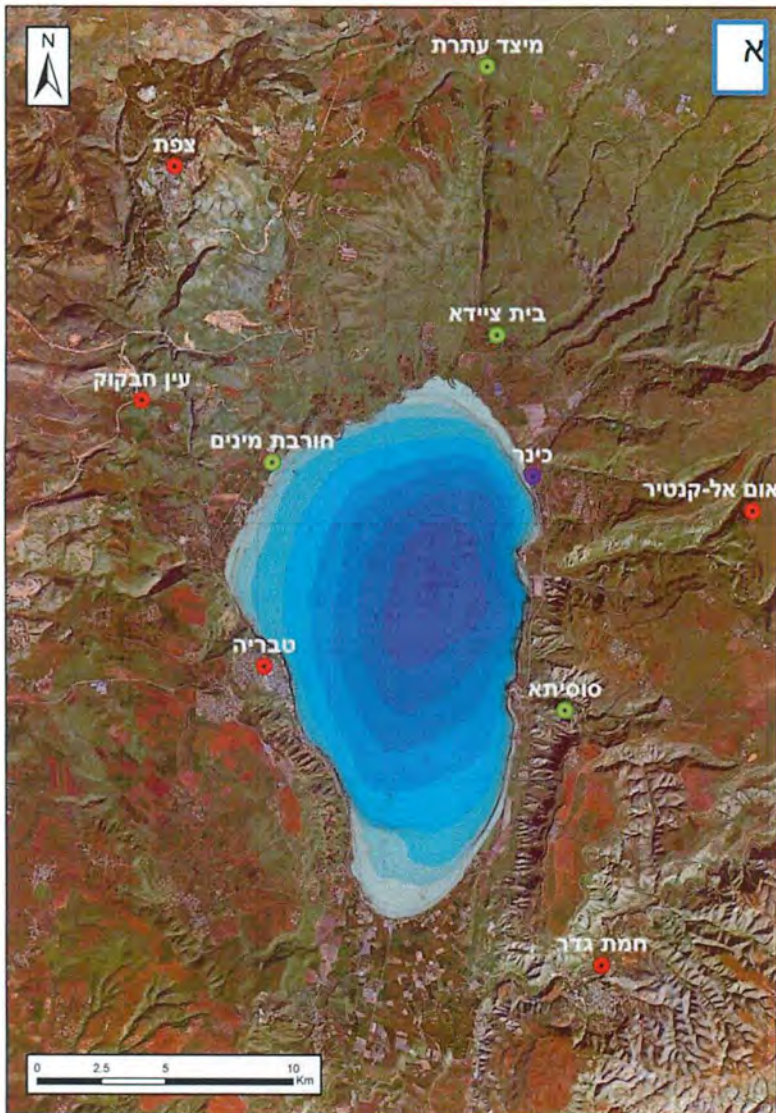
(2) החוג למדעי כדור הארץ, אוניברסיטת תל-אביב

מבוא

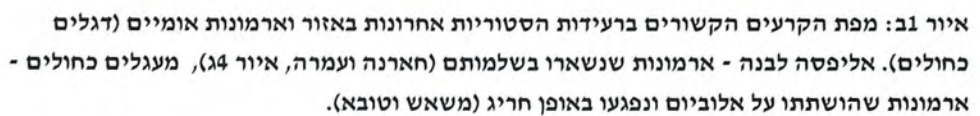
הסיור יציג חזית בין-תחומית המתפתחת במחקר אתרים ארכיאולוגיים בארץ בכלל, וסביב הכנרת בפרט. התחומים המשתלבים בנושא "שכבות חורבן ארכיאולוגיות" כוללים גיאולוגיה של רעידות אדמה, השדה המגנטי הקדום, כלים חדשים בכרונוסטרטיגרפיה, היסטוריה פוליטית, וסוגיות באינטראקציה של האדם וסביבתו. אזור העמקים הצפוניים היה מיושב ברציפות לאורך ההיסטוריה. עמקים טקטוניים אלו, חלק משרשרת השקעים לאורך בקע ים המלח, היו נתונים לאירועים סייסמיים שחלקם מתועדים היסטורית ובמקומות השאירו חותם כשכבות חורבן. שכבות חורבן נוצרו גם בעת עימותים צבאיים אשר ליוו את ההיסטוריה של האזור (טבלה 1). זאת בשל היות האזור צומת אסטרטגית בין תרבויות ואימפריות לאורך ההיסטוריה. מסעות מלחמה ואירועים סייסמיים (מקבצי רעידות אדמה) משפיעים על אזורים נרחבים, על כן שכבות החורבן יופיעו במספר אתרים במרחב בזמן. לפיכך שכבות חורבן יכולות לשמש סמנים סטרטיגרפיים המאפשרים הפרדה גבוהה בזמן.

הסיור יבקר בשכבות מתקופת הברזל עד התקופה העותמנית. חלק מהשכבות מראות חורבן כתוצאה מקריעת פני שטח (שהיא המקור לרעידת אדמה), חלק נוסף מזעזועים כתוצאה מהתקדמות הגלים הסייסמיים בקרום ולכידת האנרגיה בקרבת פני השטח ושתי שכבות חורבן מכיבושים. מדובר בארבעה אתרים (איור 1א): חורבת מינים (חירבת מיניה), תל בית ציידא (פארק הירדן), מצד עתרת (ואדום יאקוב) וסוסיתא (היפוס); נציין כי אתרים נוספים סביב הכנרת מגלים ממצאים מבטיחים בתחום (כגון בית שאן, אוס קנתיר, חמת גדר, טבריה, עין חבקוק, ציפורי, צפת, עמרית) (איור 1). נסקור חמש קריעות פני שטח סייסמיות במצד עתרת (תקופות: ברזל,

חשמונאית, רומית-ביזנטית, צלבנית, עותמנית) תוך הבנה שהקריעה בתקופה רומית-ביזנטית מורכבת משישה אירועי קרע לפי שוחות פאליאוסייסמיות בבקעת בטיחה; נפגוש שכבת הרס ממסע העונשין של תגלת פלאסר השלישי 732 לפנה"ס; נגלה מתי חרבו הבזיליקות הביזנטיות ומתי ארמונות אומיה. נציג את תרומת ההרס המתועד היסטורית וארכיאולוגית לשחזור שינויים סקולריים בשדה המגנטי.



איור 1א: מפת מיקום תחנות הסיור ואתרים נוספים שנפגעו (על גבי Sade et al., 2009).

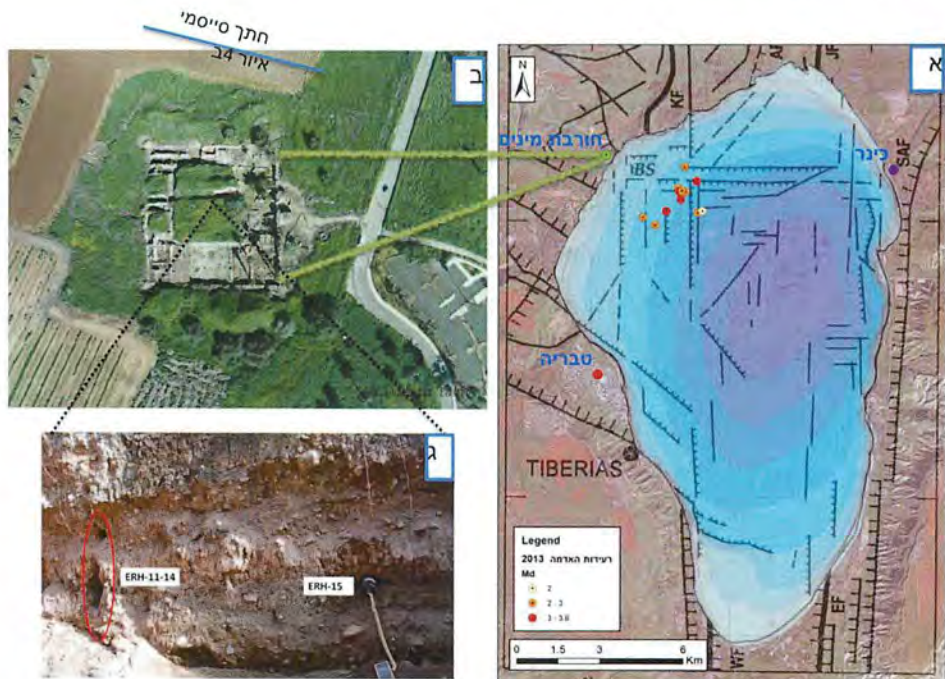


טבלה 1: תקופות וחורבנות היסטוריים

תקופה		שנים	מסעות מלחמה	רעשים
	ברונזה מאוחרת IIB	1300-1200	חורבן סוף הברונזה	
ההתנחלות - שופטים	ברזל I	1200-1000		
ממלכה מאוחדת	ברזל IIA	1000-900		
פיצול הממלכה	ברזל IIB	900-700	חזאל ~830 תיגלת פילסאר III ~732 מסע סנחריב ~701 סרגון ווו ~722	~760 הרעש מימי עוזיה ועמוס
ממלכת יהודה	ברזל IIC	700-586	חורבן יהודה, 586 נבוכדנצר מלך בבל	
	בבלית-פרסית	586-332		535,550
הלניסטית	הלניסטית מוקדמת	332-167		198-9
	הלניסטית מאוחרת (חשמונאית)	167-37	פלישת פומפיוס 63	142-3 64, 92
רומית, ביזנטית	רומית מוקדמת	37 BCE – 132 CE	המרד הגדול CE 71-74 בר כוכבא 132-136	31 BCE 33 CE
	רומית מאוחרת	132-324		303, 130, 115
	ביזנטית	324-638		,419, 363 551, 502
מוסלמית קדומה	אומיית עבסית פטימית	638-750 750-942 942-1099	כיבוש מוסלמי 640	659, 634 747, 749, 757 853-4 1068, 1033
	צלבנית	1099-1187	מסעי הצלב	,1157, 1114 ,1170
מוסלמית מאוחרת	איובית	1187-1250		1212, 1202
	ממלוכית	1250-1516	ביברס, כיבוש מונגולי	,1312, 1303 ,1481
	עותמנית	1516-1917		1749, 1712 1837, 1759

תחנה 1: חורבת מינים / חירבת מיניה

האתר סמוך לאכסניית "כרי דשא" בבקעת גינוסר, מצפון מערב לכנרת (איורים 2,4). החשוב בין הממצאים באתר הוא ארמון אומי, מהראשונים שנבנו, אשר בנייתו מיוחסת לאל-ואליד הראשון (Al Walid I, 705-715 CE) (Grabar, 1992). המיקום, לשפת הכנרת ובסמוך לציר תחבורתי ראשי, הקנה לאתר ערך עוד לפני התקופה האומיית. ואכן, סמוכים לארמון מרחצאות ביזנטיים ומעגן סירות עתיק. הארמון האומי חד קומתי, בעל מראה ביצורי ופאר מלכותי המשתקף בשרידי פסיפס ושיש בדומה לארמונות אומיים אחרים (Cytryn-Silverman, 2009). בפינה הדרום מזרחית של הארמון מסגד עם חיפוי תמוך עמודים מדגם דומה לבן זמנו מטבריה, ולו כניסה מיוחדת בחומה המזרחית אשר הקלה שימוש על ידי עוברים ושבים (Cytryn-Silverman, 2009).



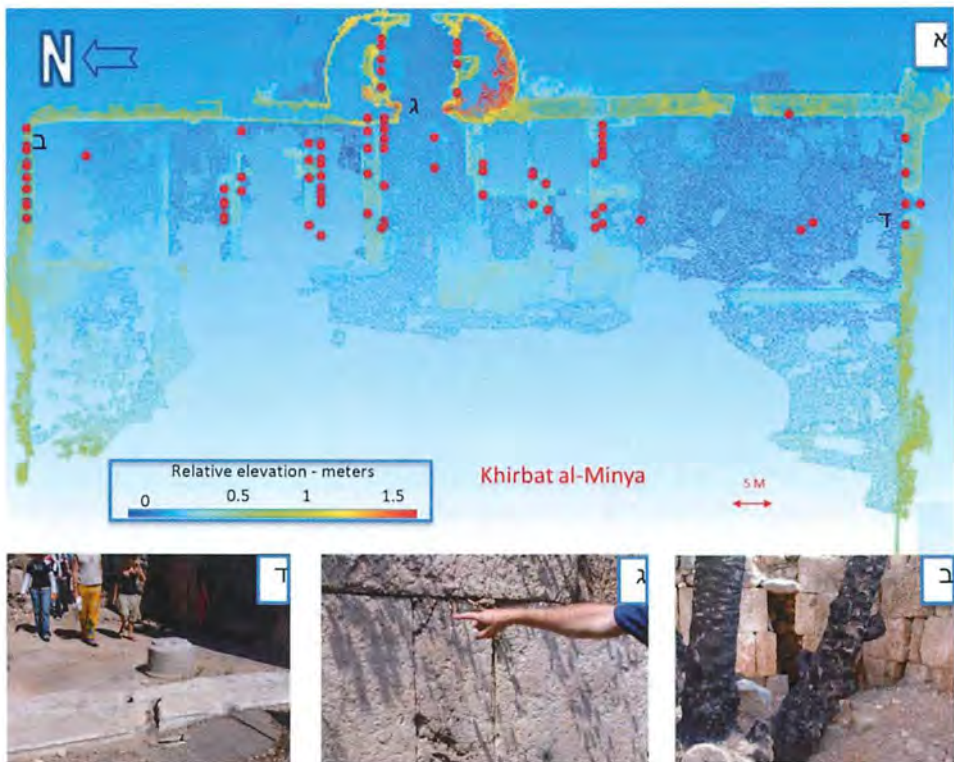
איור 2: חירבת מיניה. (א) מיקום האתר (ירוק) על רקע מפה מורכבת משלושה מקורות: תבליט מוצלל (Sade et al., 2009), העתיקים וליניאמנטים (Belitzky and Ben-Avraham, 2004), ואפיצנטרים של מיקרו-רעשים מאוקטובר 2013 בקרבת האתר (המכון הגיאופיסי (gii.gov.il)). (ב) מיקום חתכים סייסמיים ואזור נזק ישיר על תצלום אוויר של האתר (רחפן באדיבות יניב דרביס). (ג) מיקום דגימות גיל בשיטת OSL.

מידות הארמון כ-67*73 מ', היחידה ה"תקנית" בארמונות האומיים. "ארמונות מדבר" אלו פזורים במרחב הלבנט, ובעיקר באזור הבאלקה, בחלקה הצפוני של ירדן (איור 1ב). הארמונות נבנו בעת התפשטות האימפריה האומיית על אזורי חקלאות נרחבים (Rosen-Ayalon, 1996). באמצע המאה השמינית, לקראת סיום התקופה והקמת סולטנות עבאס שמרכזה בגדד, נפגע האזור בסדרת רעשי אדמה (-749-747; Ambraseys, 2009; 757).

בתחילת האלף השני הוסב האתר למפעל סוכר וניתן למצוא בו כבשנים, חרסים וכלים הקשורים לתעשייה זו (Cytryn-Silverman, 2009). רוב הכלים מתוארכים לתקופה הממלוכית, המהווה שלב מאוחר של האתר, וחלק מהכלים שונים לחלוטין מאלו המוכרים מאזורנו במאות השתיים עשרה והשלוש עשרה (Stern, 2009; Peled, 1999). האתר ננטש ויושב מחדש מספר פעמים במספר מפלסים וסבל נזק רב משוד עתיקות, שינוי יעוד הבניה והרס טבעי (Grabar, 1992).

מיפנו בארמון סימנים רבים לנזקים ממקור סייסמי (איור 3). נטייה של קירות ורצפות, סדקים רחבים החוצים אבני גזית ופינות קטומות מהווים עדות ישירה לנזק סייסמי. שלדים קבורים, סימני שריפה ושימור של חפצי ערך, כמו פסיפסים, תחת המפולות מהוות עדות עקיפה לנזק מסוג זה. מרבית העדויות הישירות מרוכזות ברצועה צרה, ברוחב 15~ מטר, לאורך החלק המזרחי של האתר. תצפית זו העלתה את ההשערה שישנו גורם בתת הקרקע, אולי העתק קבור, אשר גורם לריכוז נזק זה.

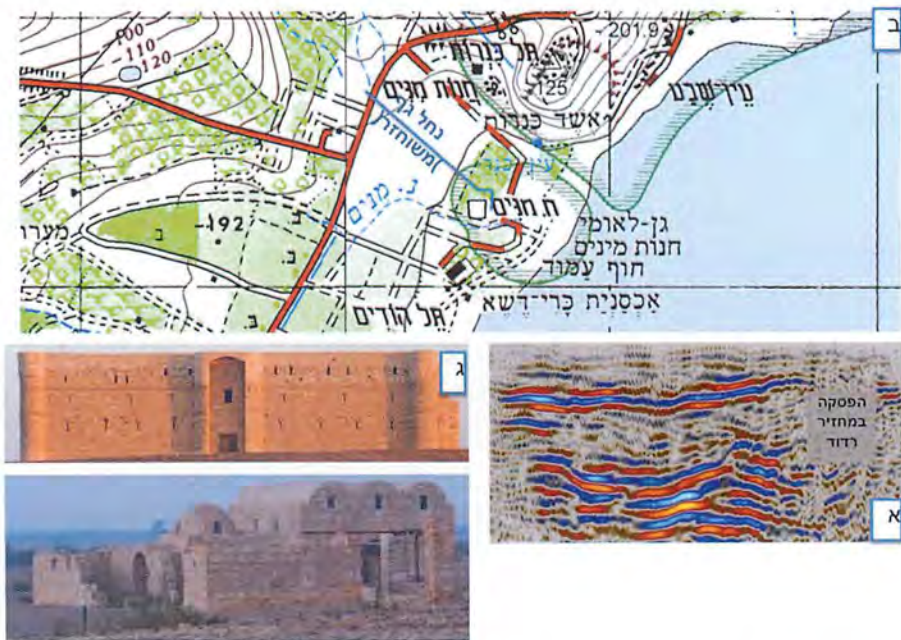
לפחות שני אירועי חורבן מתגלים במבנה. הראשון, אשר פגע במפלס האומי מתאים לאירוע סייסמי מאמצע המאה השמינית. אירוע שני מתבטא בשכבת שריפה דיסקרטית בערמת העפר הלא חפורה במרכז האתר, כמטר מעל הרצפה המקורית. סימני שריפה בגובה דומה נראים על מרבית הקירות החשופים של המבנה. בשכבה זו נמצאו גם שלדים תחת מפולות, עדות תומכת למקור סייסמי לנזק. תיארוך OSL (בסיוע ג. פינקלשטיין, המכון הגיאולוגי) של שכבת חורבן זו מצביע על המאה ה-11, תקופה קדומה לצלבנים, מה שמטיל אילוץ חדש על הכרונולוגיה של תעשיית הסוכר במקום. במאה זו ידוע רעש גדול באזור זה, 1033, ויש עדויות מעורבות לגבי 1068 (Guidoboni and Comastri, 2004).



איור 3: (א) סריקת Lidar של חלקו המזרחי של הארמון בחורבת מינים. העיגולים האדומים מציינים מיפוי נזקים בולטים. האותיות ב-ג-ד מסמנות את מיקום טיפוסי הנזק המתוארים בתצלומים שלמטה. (ב) סדקים פתוחים. (ג) פינות קטומות. (ד) מפתן שבור. לא ניתן לשחזר את החלקים למונוליט בתנועה פשוטה לאורך קטע בודד.

בנסיון לאפיון כמותי של הנזק המבני יצרנו מודל תלת ממדי של חלקו המזרחי של האתר בעזרת סורק לייזר קרקעי (Lidar) (בסיוע א. שגיא, המכון הגיאולוגי) ומיפינו את הסדקים הגדולים (איור 3). במודל התלת ממדי לא נראים סימנים של תנועה יחסית בין חלקי המבנה השונים. גם מיפוי הסדקים והנזקים הגדולים לא מאפשר למתוח קו דיסקרטי ברור בין מיקום הנזקים השונים. שוחת בדיקה בצמוד לחומה הצפונית מחוץ למבנה הראתה חתך קרקע בלתי מופר לעומק 4 מ'. תוצאות אלו אינן תומכות בהשערה שהעתק פעיל קבור תחת המבנה. בכדי למפות את תת הקרקע באזור הארמון ערכנו שני סקרים סיסמיים מצפון לאתר, האחד במרחק של כ 20 מטר מהחומה הצפונית של האתר (איור 2ב) והשני במרחק של כמאה מטר מצפון לו. הסקר הצפוני לא מראה הפרעות מובהקות בשיכוב בתת הקרקע הרדוד. לעומתו, הסקר הדרומי מראה הפרעה גדולה ברציפות המחזירים הסיסמיים בעומק של

כ 20-30 mSec, זמן חזרה כפול (TWT - Two Way Time) (איור 4). הפרעה זו בחלקו המזרחי של החתך חופפת חלקית להשלכת רצועת ההרס צפונה. הפרעה מסוג זה יכולה לנבוע מאפיקי נחלים הקבורים בתת הקרקע. מסלולם של אלו יכול להיקבע על ידי העתק פעיל בכיוון צפון דרום, משני ומקביל להעתקים שמופו על ידי Belitzky and Ben-Avraham (2004) על סמך ניתוח גיאומורפולוגי של בתימטריה (איור 2א), אך אין בידינו עדות לכך.



איור 4: (א) שיחזור נחל גף על גבי מפת 1:50000 (govmap.gov.il). (ב) חתך סייסימי ברזולוציה גבוהה מצפון לחירבת מיניה (מיקום באיור 2ב). ההפסקה במחזיר הרדוד בחתך הדרומי עשויה להתפרש כהעתק וואו נחל קדום. (ג) ארמונות אומיים ששרדו בירדן (עליון - קסר חארינה, תחתון - קסר עמרא, מיקום - אליפסה לבנה באיור 2ב).

באוקטובר 2013 נקלטו באזור זה עשר רעידות אדמה חלשות בדרגות 2 ו 3 (איור 2א). מיקום הרעידות, כפי שנקבע על ידי המכון הגיאופיזי הישראלי, בתוך הכנרת, 2-3 ק"מ ממזרח לאתר, תואם את מיקום ההעתק לפי גיאומורפולוגיה תת-מימית.

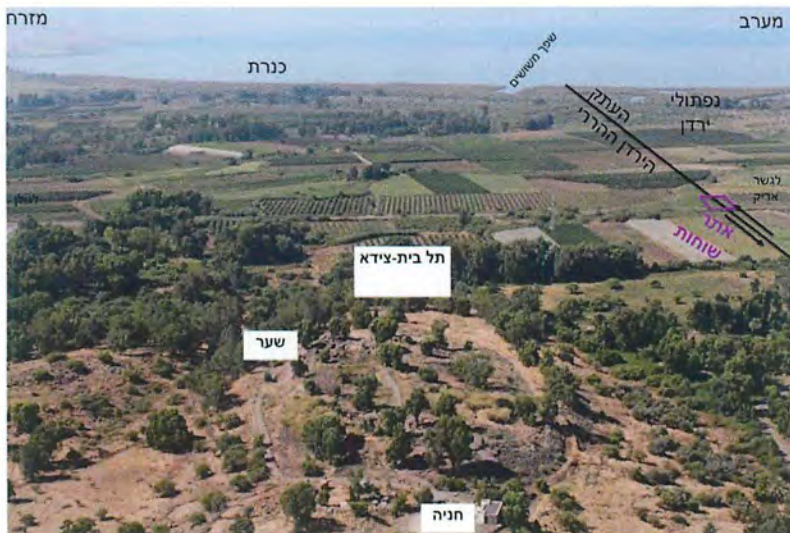
חורבת מינים נבנתה על גדות נחלים מצפון ומדרום לה, אלו נפגשים ממזרח, בסמוך לשער (איור 2ב): נחל מינים אשר מגיע מדרום ופונה מזרחה דרומית לאתר ונחל גף המגיע מצפון, זורם בסמוך לקירות הצפוניים של האתר ופונה דרומה ממזרח לו

בדרכו למפגש עם נחל מינים. ניתן אם כך לשער כי מפגש הנחלים ממזרח לאתר יוצר תשתית של סדימנט אלוביאלי בעל יציבות מבנית נמוכה מהסביבה. Raphael et al. (2015) מראים השפעה כזו של תשתית אלוביאלית על יציבות ארמונות אומיים בהקשר של התפלגות ההרס מרעידות המאה ה-8 וה-11 באזור. בעבודתם סקרו מעל 20 ארמונות אומיים בחלקה הצפוני של ירדן, במרחקים שונים מהבקע, אשר ספגו נזק מאותם אירועים סייסמיים (דגלים כחולים באיור 1ב). שני אתרים שלא נפגעו מאפשרים מבט למבנה המקורי של הארמונות (אליפסה לבנה באיורים 1ב ו-4ג). האתרים נבנו ברמות שונות של קירבה למקווי מים. שני אתרים שנבנו בערוצי נחלים ניזוקו קשה ובאופן חריג ביחס למרחקים מהבקע (עיגולים כחולים באיור 1ב).

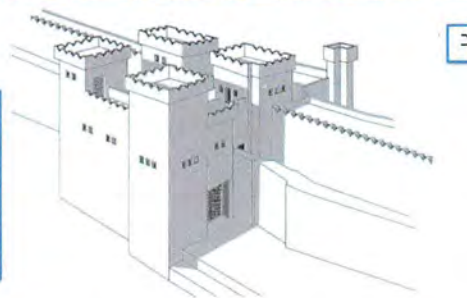
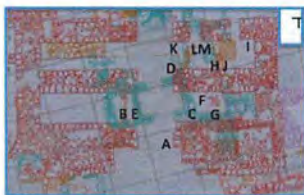
הפוטנציאל של חורבת מינים לפאליאומגנטיזם טמון בתארוך המדויק של רעשי אמצע המאה ה-8 ובתעשיית הסוכר מהמאה ה-11: הכבשנים יכולים לשמש למדידות כיוון בעוד שכלי עיבוד הסוכר החם יתאימו למדידות עצמה (זאת בשל האיכות הקרמית הגבוהה וגודל הגרגר הנמוך).

תחנה 2: בית צידא

תל בית צידא חולש על עמק בשם זה, שם תיעדנו שוחות פאליאויססימיות (Marco et al., 2005; Wechsler et al., 2014) (איור 5). התל נחפר מאז 1987 ע"י ר' ערב, בעונות החפירה 1987-1990 מטעם אוניברסיטת חיפה ומ-1991 מטעם פרויקט חפירות בית צידא. פרויקט זה כולל 24 אוניברסיטאות וקולג'ים אמריקאים שבראשן אוניברסיטת אומהה, נברסקה. בתל ממצאים מתקופת הברזל IIA (מאה עשירית לפנה"ס) ועד התקופה הממלוכית. בתקופות מפלס כנרת גבוה היה התל סמוך למפרץ אליו נשפך הירדן ההררי (איור 6א). ליד שער העיר של תקופת הברזל נמצאה במה עם צלם מרשים (איור 6ב). השער בנוי ארבעה תאים מאבני בזלת (איור 6ב, ד). ערימות חיטה ושעורה שרופות מעידות כי תאי השער שימשו כאסם. שרידי טיח לבן על אבני השער והחומות מעידים כי הביצורים טוּחוּ בבוץ ונצבעו מהמסד עד הטפחות. השער הבנוי התנשא לגובה שתי קומות (מעל 15 מ') (איור 6ב).



איור 5: תצלום אוויר אלכסוני של תל בית צידא והעמק למרגלותיו (דויד סילברמן).



איור 6: (א) שיחזור בית צידא בתקופה הרומית במבט לדרום מערב (באלג' באלה). השער קרוב למרכז התמונה. (ב) ציור איזומטרי של שער העיר (קריסטלינה אצטרוד). (ג) במה מצפון לשער (צילום: חנן שפיר). (ד) מיקום דגימות מכוונות לפאליאומגנטיזם (קנ"מ רשת: 55xמ').

בעת חורבנו קרסה הקומה העליונה על התחתונה וקברה תחתיה ממצאים רבים. בחדרים נחשפה שכבת חורבן מרשימה שכללה שכבה עבה של אפר, מפולת לבני בוץ ואבני בזלת ופיטסים מלאי תבואה שרופים ומעוכים. העוצמה החריגה של השריפה

באה לידי ביטוי בלבני הבוץ שהותכו לקלינקר. ראשי החץ והכלים המנופצים מצביעים על חורבן כתוצאה ממלחמה. מאסף החרסים, יחד עם תיארוכי C14 מתאימים למסע המלחמה של המלך האשורי תיגלת פילאסר III בשנות 732-734 לפנה"ס (Arav, 2008). שכבת חורבן ממסע זה מוכרת באתרים רבים, ובחצור נדגמה לפאליאומגנטיות.

טבלה 2: ריכוז דוגמאות מבית צידא (BSG)

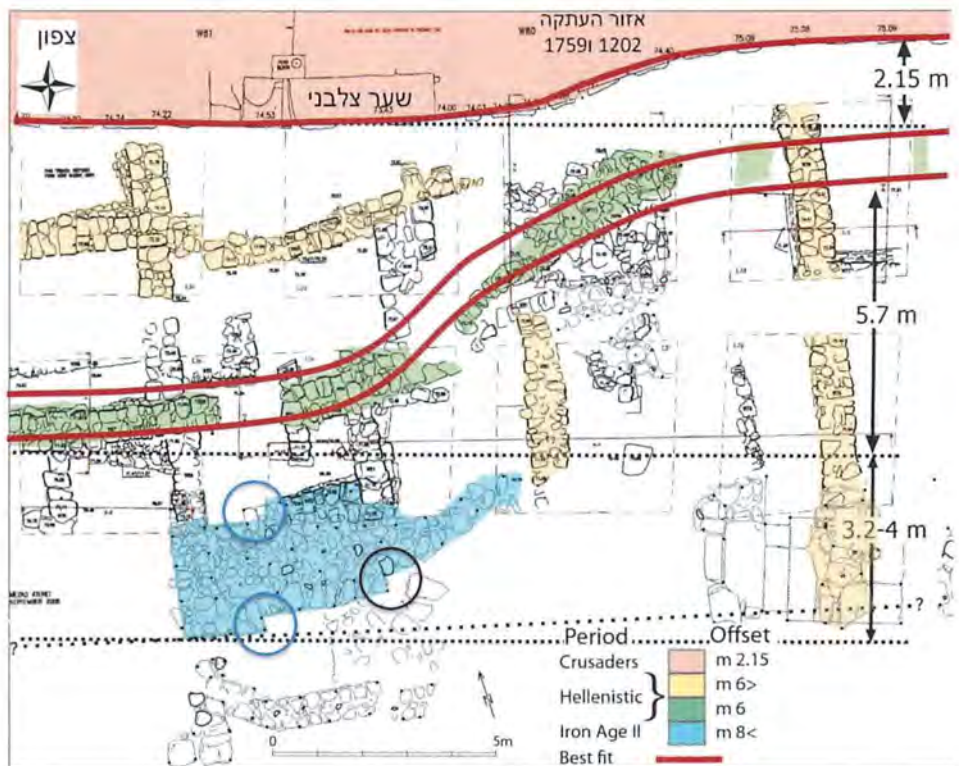
גוש	סוג דגימה	מיקום
A	6 גלעיני "1	בכניסה לשער מצד ימין (צפון) נדבך שלישי מתחת לשחזור צמוד לרצפה
B	6 גלעיני "1	בצד המזרחי של התא הדרום מזרחי של השער, צמוד לרצפה
C	5 גלעיני "1	בלוק בתא הפנימי צפוני ליד מחסן של קנקנים\ פיטסים מעוכים
D	2 גלעיני "1	בפינה דרום מערבית מצפון למעבר ומערב למחסן
E	6 גלעיני "0.5	תא דרום מזרחי, צמוד לכניסה בנדבך העליון, בלוק אדום מאוד וסדוק כפי הנראה משריפת החורבן
F	6 גלעיני "0.5	בתא הצפון מזרחי, קרוב לרצפה, בערך באמצע הקיר הדרומי
G	6 גלעיני "0.5	בלוק אדום, סדוק נדבך אחד מעל הרצפה במרכז הקיר הצפוני של התא הצפון מזרחי
H	6 גלעיני "0.5	בלוק עם קרום צהוב, כ 30 סמ' מעל הרצפה באמצע הקיר המזרחי בתא הצפון מערבי
I	6 גלעיני "0.5	תא צפון מערבי בקצה המרוחק מצד שמאל. בלוק שחור ומסיבי עם פטינה אדומה בחלקו העליון בגובה כמטר וחצי
J	טיח בוץ	צמוד לבלוק הצהוב H משמאלו
K	טיח בוץ	בכניסה לתא הצפון מערבי, בקיר השמאלי, כ 30 ס"מ מעל הרצפה
L	טיח בוץ	בקיר השמאלי של התא, בערך באמצע, צמוד לרצפה
M	טיח בוץ	בקיר השמאלי של התא, בערך באמצע, צמוד לרצפה

מדדנו נתוני עוצמה על מדגמי קלינקר אשר התגלו כרשמים מגנטיים משובחים. בסיור נציג נתונים ראשוניים בהשוואה למדידות מחרסים בשכבות חורבן ממסע תגלת פילאסר III בתילים נוספים. מדדנו נתוני כיוון השדה בזמן החורבן על דוגמאות מכוונות שקדחנו באבני בזלת מותמרות למראה ומטיח בוצי צרוף באתרו (איור 6ד, טבלה 2). התוצאות משתי דוגמאות טיח בוצי מבטיחות.

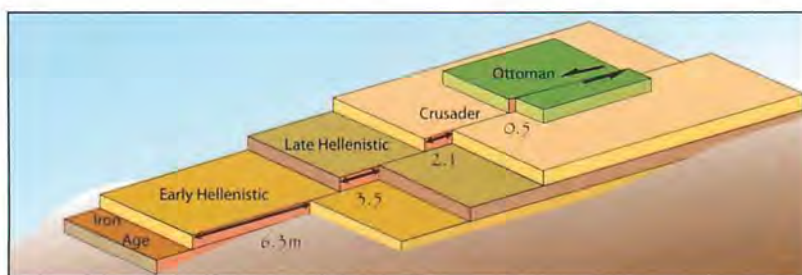
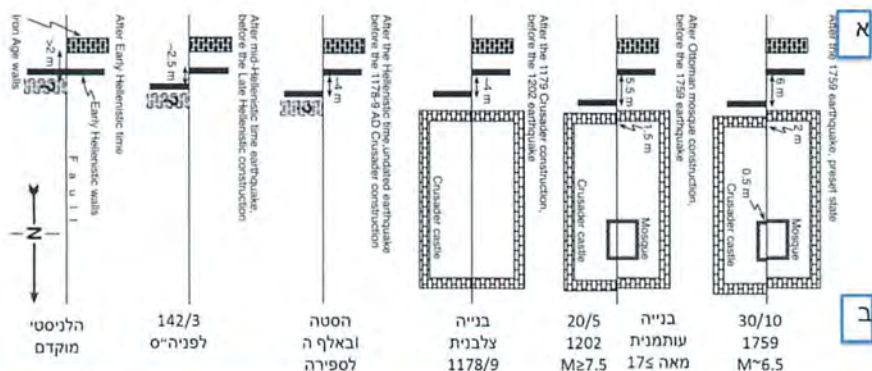
תחנה 3: מיצד עתרת

האתר הוצג לאחרונה בסיור כנס החברה הגיאולוגית בכפר בלום (עגנון ושות', 2009). בכנסים קודמים (אלנבלום ואחרים, 1997; מרקו ואחרים, 2002) הצגנו את אירועי קריעת הקרום באלף האחרון: הרעש מהתקופה הצלבנית (20 מאי 1202) וצמד הרעשים מהתקופה העות'מנית (30 אוקטובר ו-25 נובמבר 1759) (איור 1ב). קרעים אלה קשורים בהסטות של 1.6 ו-0.5 מ' ומגניטודות $M > 6.5$ ו- $M > 7$ בהתאמה (Ellenblum et al., 1998). חפירות מאוחרות יותר בעתרת חשפו שרידים משלוש שכבות עיקריות עתיקות יותר: תקופת הברזל (כאלף שנה לפני הספירה), תקופה הלניסטית מוקדמת (עד אמצע מאה שניה לפנה"ס), ותקופה הלניסטית מאוחרת. בתקופת הברזל היה על התל מרכז כפרי ששרידים ממנו נחשפו מדרום למבצר הצלבני. קיר ביצורים מאסיבי שתוחם את התל מדרום נמצא ממערב להעתק (איור 7). רוחב הקיר כ-4 מ' ואורך השרידים שלו מעל 10 מ'. גילו של הקיר מתקופת הברזל IIA נקבע על סמך ידית סיר משוחתת יסוד (א. דוידוביץ, בע"פ). רוחב האזור שנחשף ממזרח להעתק עד לתשתית הבזלת ללא כל ממצא מהתקופה 8 מ'. אנו משערים שהמשכו המזרחי של הקיר בן שלושת אלפים השנה נמצא מתחת למבצר הצלבני ומסיקים שהסטת ההעתק מאז נבנה 8 מ' או יותר. בתקופה ההלניסטית שימש התל כמרכז כפרי עם אקרופוליס בצפון התל. עד חורבנו באמצע המאה השניה לפנה"ס היה הישוב עשיר. הבניה התחדשה אחרי החורבן אך הישוב לא חזר למעמדו הקודם. שרידי קירות מהתקופה ההלניסטית המוקדמת מראים חוסר רציפות ופיתול שמאלי באזור ההעתק. קירות מהתקופה ההלניסטית המאוחרת מראים פיתול קטן יותר והסטה כוללת של כ-6 מ'. עולה מכך שבאמצע המאה השניה לפנה"ס היה אירוע של קריעת פני שטח והסטה בתל. יתכן שאירוע זה והרעש שנוצר הם מהסיבות לחורבן ולהדרדרות במעמדו של האתר. עדויות לרעידת אדמה מתקופה זו נמצאו במשקעי ים המלח (Migovski et al., 2004; Kagan et al., 2011; Agnon, 2014).

אף כי התל מראה חמישה אירועי קריעת פני שטח, אין בארכיאולוגיה הפרדה מספיקה לזיהוי כל האירועים האחרים על ההעתקה (איור 8). ההעתקה בין הרעידה בתקופה החשמונאית-הלניסטית (במחצית המאה השניה) ולרעידה בתקופה הצלבנית-איובית (1202 לספירה) מסתכמת ב-1.5 מטר, אך בתקופה זו נרשמו חמישה קרעים בבקעת בית-ציידא הסמוכה (Wechsler et al., 2014).



איור 7: מיצד עתרת - תוכנית אזור השער הצלבני, הכפר ההלניסטי, והחומה מתקופת הברזל. החומה הצלבנית מסומנת בוורוד (מופיעה בעובי חלקי) עם אזור ההעתק ממזרח לשער. הקירות ההלניסטיים הקדומים מסומנים בירוק ומראים פיתול כתוצאה מהעתקה של 6 מ', מתוכם 2 מ' יחד עם החומה הצלבנית באלף האחרון. יתרת 4 מ' של העתקה מבוטאים בפיתול החרף ממערב לאזור ההעתקה הצעיר. העקומות האדומות מבטאות פונקציות arctan תיאורטיות לדיסלוקציה אלסטית. מטמון של 45 מטבעות ברונזה נמצא בשוחת היסוד לחומה הצלבנית (עיגול כתום), וגיל האחרונים 142/143 לפנה"ס (נומיסמטיקה: ד"ר רוברט קול). קירות הלניסטיים מאוחרים מסומנים בצהוב ומידת פיתולם באזור ההעתקה קטנה במובהק מהעתיקים יותר. אף כי אלו שרידי כפר עני יותר היסודות שלהם עבים מאלו של הקירות ההלניסטיים המוקדמים. חומת ביצורים מפותלת מתקופת ברזל IIA מסומנת בכחול. העיגולים הכחולים מציינים מבנה קידמה-ניסגה המאפיין את התקופה. העיגול השחור מצוין הסטה של 70 ס"מ בקצהו המערבי של אזור העתקה. החלק המזרחי של הקיר לא נחשף אף כי האזור נחפר עד לתשתית הבזלת מדרום לחומה הצלבנית. החומה מוסטת שמאלה לפחות 8 מ'.



איור 8: סכימה של בניה והסטות לסירוגין במיצד עתרת. הערכת התנועה מאז הכפר ההלניסטי המאוחר (3.5~ מ') מניחה שסטיית הקירות מכיוון מזרח-מערב נובעת כולה מפיתול. (א) מפה. (ב) תלת מימד.

ממצאי התל והשוחות בבקעת בית ציידא (כולל Marco et al., 2005) מראים קצב הסטה ממוצע של 3-4 מ"מ לשנה במשך חמשת אלפי השנים האחרונות. קצב זה נמוך במובהק מקצב תנועת הלוחות הנמדד בגיאודזיה (surT Even and Hamiel, 2011; Masson et al., 2015). ההפרש יכול לנבוע מהקבצה ארוכת טווח באירועי קריעה ורעש (Marco et al., 1996) אך הוא ניתן להסבר גם במעבר חלק מהתנועה לגבולות המערביים של עמקי כנרת והחולה. קצב הפיתול של גוש כורזים לפי פאליאומגנטיזם של בזלות מתוארכות (Heimann dan Ron, 1993) מספק רכיב הסטה אופקית בשיעור החסר במדידות על ההעתק.

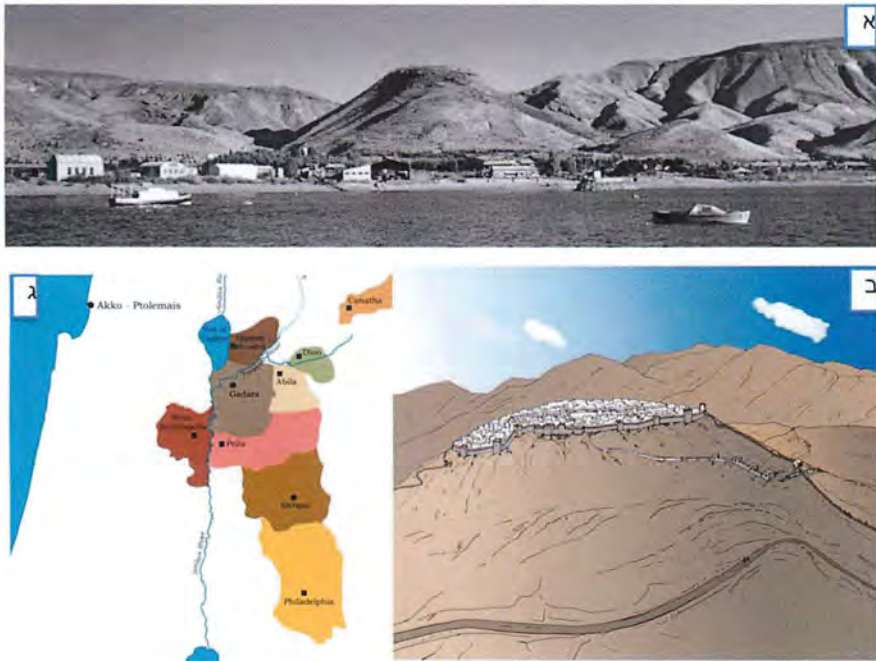
תחנה 4: סוסיתא

סוסיתא מוקפת חומה ומשקיפה על הכנרת מגובה של כ-350 מטר (בגובה של 144 מטר מעל פני הים בנקודה הגבוהה ביותר) (איור 9א,ב). הישוב הקדום היה תלוי באמת מים, מורמת במקומות, אשר גישרה בין מעיינות ברמת הגולן לכיפה המבודדת

עליה נבנה. העיר הראשונה במקום Hippos Antiochia הוקמה במאה השנייה לפנה"ס על ידי הסלווקים, יתכן שעל שרידי ישוב קדום יותר מהמאה השלישית לפנה"ס. העיר נזכרת לראשונה, בכתבי יוסף בן מתתיהו, בתיאור מסע כיבושיו של המלך החשמונאי אלכסנדר ינאי (Alexander Jannaeus, 103-76 BCE) בעבר הירדן, בסביבות 83-80 לפנה"ס (קדמוניות היהודים יג', 394-397). עם כיבוש האזור בידי רומפיוס בשנת 63 לפנה"ס, חודשו הערים המיונות, ערי הדקפוליס (Decapolis), ונכללו בתחום הפרובינציה סוריה (קדמוניות היהודים יד', 74-75). ערי הדקפוליס מוזכרות בכתבי יוסף בן מתתיהו, פליניוס הזקן ואף בברית החדשה - "בתוך עשר הערים" (מרכוס 7, 31).

גוש ישובי זה כלל כעשר ערים מיונות, יתכן שאף יותר, שהשתרע בין פילדלפיה (רבת עמון) בדרום, סוסיתא בצפון, קנתא (קנוואת, בסוריה של היום) במזרח ובית שאן במערב (איור 9). ערים אלו, נוהלו על ידי עקרונות הפוליס והיוו טריז תרבותי יווני במרחב השמי סביבן, על כן זכו למעמד עצמאי יחסית תחת השלטון הרומי. על פי התיאור של יוסף בן מתתיהו הותקפה העיר בזמן המרד הגדול בידי יהודים מהסביבה, וחלק מתושבי העיר היהודים השתתפו בהגנה עליה (מלחמות היהודים ב', 459; 478; ג', 542). בהמשך, עברה העיר לשליטתו של הורדוס, בניגוד לרצון תושביה, כחלק מהרחבת ממלכתו בידי הקיסר אוגוסטוס (Augustus, BCE-14-27 CE). ואכן, עם מותו של הורדוס, חזרה העיר לתחום הפרובינציה סוריה (קדמוניות טז', 217; יז' 320; מלחמות היהודים, א', 396; ב', 97). העיר מוזכרת מספר פעמים במקורות היהודיים, מהם ניתן ללמוד על מעמדה של העיר, אוכלוסייתה, תחומה וקשריה עם ערי הסביבה. בגמרא מובאת סוסיתא כדוגמא לעיר נכרית בעלת מיעוט יהודי (ירושלמי, כתובות יב', ד'; בבלי, ראש השנה ב', א'). תחום העיר הגיע עד לחוף הכנרת ונכללו בו מספר כפרים יהודיים; כנף ואום אל קנטיר, בהם נמצאו בתי כנסת, מוזכרים בין כפרים אלו.

העיר שגשגה והתפתחה בזמן השלום הרומי במאות השנייה והשלישית לספירה, היא הייתה בקשרי מסחר ותחרות עם טבריה מעברה השני של הכנרת ואף זכתה בשל כך לכינוי "צרתה של טבריה" (איכה רבה מו', 71). נראה כי העיר לא נפגעה בכיבוש המוסלמי של האזור במאה השביעית לספירה. אך מזל זה לא עמד אל מול פגעי הטבע, העיר נפגעה קשה ברעידות האדמה של אמצע המאה הרביעית (363) ואמצע המאה השמינית לספירה. הרעידה האחרונה הנחיתה מכת מוות לעיר, שלא הצליחה להתאושש ולא התחדשה שוב.



איור 9 : סוסיטא בהיבט המרחבי (באדיבות פרופ' מיכאל איזנברג). (א) צילום מסירה בכנרת (1943), ארכיון עין-גב). (ב) ציור אומנותי מדרום. (ג) מפת הדקפוליס.

האתר נסקר לראשונה על ידי ג' שומכר הגרמני בשנת 1885. הוא שרטט תוכנית סכמתית מפורטת הכוללת את הקארדו של העיר, שרידי החומה והמגדלים ואף את המבנה המונומנטאלי במרכז העיר. עם ייסוד קיבוץ עין גב ב 1937, חודשו הסקרים באתר על ידי חברי הקיבוץ וביניהם מ' נון שזיהה את שני המעגנים של העיר, בסמוך לשפך נחל סוסיטא לכנרת. חפירות הצלה, בשל עבודות בניה וביצור של צה"ל, יצאו לפועל בשנים 1950-1952 בהובלת ק' אפשטיין, מ' אבי יונה, א' שולמר וע' אנטבי. משלחת מדעית ישראלית גרמנית בהשתתפות ז' משל סקרה וחפרה במטרה לבדוק את מערכת אמות המים של העיר בתחילת שנות ה-90.

החפירות המחודשות באתר החלו בשנת 1999 על ידי משלחת מאוניברסיטת חיפה בראשות א' סג"ל ומ' איזנברג (Segal, 2008; Segal et al., 2013; Eisenberg, 2015; Epstein, 1992; Eisenberg and Segal, 2005). בין השאר התגלו מקדש רומי וכנסיות, פורום, בתי מרחץ, בסיליקה, ואודיאון (איור 10א).



איור 10: אורטופוטו של סוסיתא עליו מסומנות עצירות הסיוור. במסגרות: אתרי נפילת עמודים (באדיבות פרופ' מיכאל איזנברג).

מפולות עמודים מסודרים בשורות ומוסטים מבסיסיהם מקפאים את אוירת החורבן בסוסיתא, והן מיוחסות לרעשי אמצע המאה השמינית שהחריבו את העיר וסיימו את הפרק האורבני באתר (איור 10ב,ג). לאחרונה נמצא שלד אישה עם תליון זהב תחת חורבות הבסיליקה שחרבה במאה ה-4 (איור 10ד), בו זמנית לנוק כבד לאודיאון. נראה שמקור הנזק מרעש 363, שהשאיך חותם נרחב באתר, אך תהליך השיקום אחרי הרעש מיסך את מימדיו. דבר זה מדגיש שכדי לשלול הרס מרעש מסויים בתל נדרש רצף סטרטיגרפי על פני תקופת הרעש במספר מקומות באתר.

תודות: אנו אסירי תודה לארכיאולוגים ששיתפו אותנו בידע הרב ותרמו לנו חומר גרפי בנדיבות: פרופ' רמי ערב מאוניברסיטת אומהה, נברסקה על בית צידא; פרופ' מיכאל איזנברג מאוניברסיטת חיפה על סוסיתא; ד"ר קטיה ציטרין-סילברמן מהאוניברסיטה העברית על חורבת מינים. מיני גולן זיהה את הפוטנציאל הגלום בחורבת מינים לארכיאולוגיה. וכמובן שבלעדיו ובלי פרופ' רוני אלנבלום מהאוניברסיטה העברית לא היה לנו מה להגיד על עתרת.

מקורות:

- Agnon, A., 2014. Pre-Instrumental Earthquakes Along the Dead Sea Rift; in: Garfunkel Z., Ben-Avraham Z. and Kagan E. (Ed.); Dead Sea Transform Fault System: Reviews; Springer; 207-261.
- Agnon, A., Migowski C., Marco S., 2006. Intraclast breccias in laminated sequences reviewed: Recorders of paleo-earthquakes; GSA Special Papers: 401; 195-214; 2006.
- Ambraseys, N.N., 2009. Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900, Cambridge University Press, New York, 947 pp.
- Arav, R., 2008. Bethsaida (Et-tell); In: Stern, E. (Ed.); The New Encyclopedia of archaeological excavations in the Holy land (5); 1611-1615; Jerusalem.
- Belitzky, S., Ben-Avraham, Z., 2004. The morphotectonic pattern of Lake Kinneret; Israel Journal of Earth Science; 53: 121-130.
- Cytryn-Silverman, K., 2009. The Umayyad Mosque of Tiberias, Muqarnas: 26, 37-61. http://tiberias.huji.ac.il/files/Publications/PDF_final%20Muqarnas26_Cytryn-Silv_pp%2037-62comp.pdf
- Eisenberg, M., 2015. Antiochia Hippos, Revealing a lost city of the Roman Decapolis. Current World Archaeology, 69: 27-33.
- Eisenberg, M., Segal A., 2005. Hippos-Sussita of the Decapolis — First Five Years of Excavation; Qadmoniot, 129: 15-29 [Hebrew].
- Ellenblum, R., Marco S., Agnon A., Rockwell T. Boas A., 1998. Crusader castle torn apart by earthquake at dawn, 20 May 1202; Geology: 26, 303-306.
- Epstein, C., 1992. Hippos (Sussita); In: Stern, E. (Ed.); The New Encyclopedia of archaeological excavations in the Holy land (2): 634-636; Jerusalem.
- Even-Tzur, G., Hamiel Y., 2011. Geodetic study of crustal deformation across the Dead Sea Fault system in the Jordan Gorge area, Northern Israel; Isr. J. Earth Sci.: 58, 193-201.
- Grabar, A., 1992. Minnim, Horvat; In: Stern, E. (Ed.); The New Encyclopedia of Archaeological Excavations in the Holy Land (3), 1050-1051; Jerusalem.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th century. Rome: Istituto Nazionale di Geofisica.

Heimann, A. Ron H., 1993. Geometric changes of plate boundaries along part of the northern Dead Sea Transform: Geochronologic and paleomagnetic evidence; *Tectonics*; 12: 477–491.

Kagan, E., Stein M., Agnon A., Neumann F.; Intrabasin paleoearthquake and quiescence correlation of the late Holocene Dead Sea; *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*: 116; Is. B04311; 2011.

Marco, S., Stein M., Agnon A., Ron H., 1996. Long-term earthquake clustering: A 50,000-year paleoseismic record in the Dead Sea Graben; *Journal of Geophysical Research*: 101, 6179–6191.

Marco, S., Rockwell, T.K., Heimann, A., Frieslander, U., Agnon, A., 2005. Late Holocene slip of the Dead Sea Transform revealed in 3D palaeoseismic trenches on the Jordan Gorge segment; *Earth Planet. Sci. Lett.*: 234, 189–205.

Masson, F., Hamiel Y., Agnon A., Klinger Y., Deprez A., 2015. Variable behavior of the Dead Sea Fault along the southern Arava segment from GPS measurements; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071314001321>

Migowski, C., Agnon A., Bookman R., Negendank J.F.W. Stein M., 2004. Recurrence pattern of Holocene earthquakes along the Dead Sea transform revealed by varve-counting and radiocarbon dating of lacustrine sediments; *Earth and Planetary Science Letters*: 222, 301– 314.

Peled, A., 2009. Sugar in the Kingdom of Jerusalem A Crusader Technology between East and West; *Yad Ben-Zvi, Jerusalem*; 314 pp.

Rephael, K., Hassul E. Agnon A., 2015. Searching for the Edge of Destruction: Umayyad Palaces and the mid-8th and 11th century CE Earthquakes; in prep.

Rosen-Ayalon, M., 1996. The Umayyad Palaces in Jordan; *Qadmoniot*: 28, 119–128.

Sade, A.R., Tibor, G., Hall, J.K., Diamant M., Sade, H., Hartman, G., Amit, G., Schule, B., Zohary, T. Markel, D., 2009. Multibeam Bathymetry of the Sea of Galilee (Lake Kinneret); *GSI Report GSI/05/2009; IOLR Report H\16\2009*.

Segal, A., 2008. Hippos (Sussita); In: Stern, E. (Ed.); *The New Encyclopedia of archaeological excavations in the Holy land* (5), 1782–1787; Jerusalem.

Segal, A., Eisenberg, M., Mlynarczyk, J., Burdajevicz, M., Sculer, M., 2013. Hippos-Susita of the Decapolis: The First Twelve Seasons of Excavation 2000-2011, I, The Zinman Institute of Archaeology, University of Haifa, 313 pp. ISBN 978-865-7547-03-8

Stern, E., 1999. The Sugar industry in Ancient Israel during the Crusader, Ayyubid and Mamluk Periodes in the light of Archaeological excavations; MA Thesis; The Hebrew University of Jerusalem; Jerusalem. Unpublished [Hebrew].

Wechsler, N., Rockwell T.K., Klinger Y., Stěpančtšov P., Kanari M., Marco M., and Agnone A., 2014. A Paleoseismic Record of Earthquakes for the Dead Sea Transform Fault between the First and Seventh Centuries C.E.: Nonperiodic Behavior of a Plate Boundary Fault; BSSA: 104, 1329-1347.

אלנבלום ר., מרקו ש., עגנון א., רון ח., 1997. ארכיאוסייסמולוגיה; סיור החברה הגיאולוגית הישראלית במצד עתרת; כנס החברה הגיאולוגית הישראלית.

מרקו ש., אלנבלום ר.צ., עגנון א., קלדרון ר., 2002. סיור החברה הגיאולוגית הישראלית במצד עתרת; כנס החברה הגיאולוגית הישראלית.

עגנון א., מרקו ש., אלנבלום ר., פורת נ., מאיר ע., בירגר ר., רפאל ק., 2009. עדויות ארכיאולוגיות: שלושת אלפים שנה של רעשים מראים חסר תנועה שניתן לפיצוי בפיתול גוש כורזים; כנס החברה הגיאולוגית הישראלית.

סיור מספר 2:**הרצף הסדימנטרי, הכרונוסטריגרפיה והפלאוגיאוגרפיה****של המיוקן המאוחר בעמק הירדן המרכזי**

**אלכסיס ג. רוזנבאום^{1,2}, עזרא זילברמן¹, מרדכי שטיין^{1,2}, עמיר סנדלר¹,
דודן שקד-גלבנד^{1,2}, יוסף מורג³**

(1) המכון הגיאולוגי, מלכי ישראל, 30 ירושלים 95501

(2) המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, גבעת רם, ירושלים, 91904

(3) מחצבת הגבס גשר

מבוא

לאורך המדרונות המערביים של עמק הירדן המרכזי חשוף חתך של סלעי משקע קרבונטים, אוופוריטים וקלאסטים וכן סלעים וולקניים המורכבים מבזלות ופירוקלסטים. רצף סלעים זה הורבד החל מסוף המיוקן המוקדם, ובעיקר במיוקן המאוחר והוא מכוסה בבזלות מגיל פליוקן (Schulman, 1959; שולמן, 1962; שליב, 1991). יחידות הסלע והתצורות החשופות בשולי עמק הירדן הן (מהבסיס לגג): בזלת תחתונה, הורדוס, אום סבונה, בירה, גשר, טוף פיגאס, ובזלת הכיסוי. לכולן השתרעות החורגות מעבר לתחום של עמק הירדן. באזור מצומצם לרגלי המדרון חשופה תצורת ארק-אל-אחמר, המאוחרת לבזלת הכיסוי, שתפוצתה מוגבלת לשקע של עמק הירדן (איורים 1 ו 2). אגן סדימנטרי עמוק (אגן כנרת) המשתרע מבקעת בית שאן ועד הכנרת, בונה את קרקעית עמק הירדן. קידוח צמח-1 שחדר לעומק 4249 מטרים בתוך המילוי של צפון אגן כנרת, לא הגיע לבסיס האגן. הגילים המוקדמים ביותר בחלקו התחתון של הקידוח מצביעים על כך ששפכי לבה זרמו לאגן כבר לפני כ-10 מיליוני שנים (Heimann and Stein, forthcoming). גבול המזרחי של האגן הוא טרנספורם ים המלח, העובר באזור זה לרגלי המדרונות המזרחיים של עמק הירדן והכנרת, ואילו גבולו המערבי הוא מערכת העתקים מורכבת בעלת רכיב תזוזה אנכי מצטבר של מספר קילומטרים ורכיב תזוזה אופקי ששיעורו אינו ידוע (Meiler et al., 2008; Gardosh and Bruner, 1998).

הסיוור יעבור לאורך המדרונות המערביים של עמק הירדן המרכזי בין נחל יששכר לנחל מנחמיה. תיסקר ההיסטוריה הטקטונית והפלואוגיאוגרפית של שולי בקעת הירדן בתקופת המיוקן המאוחר והפליוקן, תוך התמקדות בחתך הסטרטיגרפי ובסביבות ההרבדה של היחידות השונות. בפרק הזמן בו יעסוק הסיוור נוצר טרנספורם ים המלח שחצה את האגן היבשתי הרדוד שהשתרע מאז המיוקן המוקדם על פני אזורים נרחבים בצפון ישראל. החל מהמיוקן המאוחר מתפתח בקע הירדן שהוא אחד ממערכת אגני מתיחה שנוצרו לאורך תוואי הטנספורם.

רקע גיאולוגי

עמק הירדן המרכזי הינו חלק מאגן נאוגני נרחב בו הצטברו סדימנטים ויחידות וולקניות של חבורת טבריה וים המלח מגיל מיוקן מוקדם עד הרביעון המאוחר בעובי מעל 4000 מ' (Marcus and Slager, 1985; שליב, 1991; Hurwitz et al., 2002). הגבולות של האגן הנאוגני חרגו מתחומי הבקע הנוכחי שנוצר לאחר שפיעת בזלת הכיסוי (Hurwitz et al., 2002; Rotstein et al., 1992). היחידות החשופות בעמק הירדן המרכזי הן הורדוס, בזלת תחתונה, אום סבונה, בירה, גשר, טוף פג'אס, בזלת הכיסוי, ארק אל אחמר, עובדייה ולשון (שולמן, 1962; בראון, 1992) (איורים 2 ו 3).

בזלת תחתונה (שולמן, 1962 בעקבות Blake, 1928)

רצף זרמי לבה שביניהם מונחים לעיתים פאלאוסולים, קונגלומרטים ו/או סלעים פירוקלסטים. עוביה המרבי כ 650 מ' והיא מתאצבעת עם תצורת הורדוס. שרידים של מרכזי התפרצות געשית הקשורים לשפיעת בזלת זאת נמצאו במספר אתרים כמו באזור כוכב הירדן (שליב, 1991). טווח הגילים של בזלת זאת נקבע בעבר על סמך שיטת K/Ar ל 9-17.5 מ"ש (שליב, 1991). תיארוך בשיטת $^{40}Ar/^{39}Ar$ של גג הבזלת החשוף במחצבה בבסיס המדרון של כוכב הירדן, נתן טווח גילים בין 12.2 ל 10.2 מ"ש (Rozenbaum et al., submit.) (איורים 3 ו 4).

תצורת הורדוס (Bentor, 1946)

מורכבת מרצף סלעים שהורבדו בסביבה נחלית-אגמית, לרוב בעלת אנרגיות נמוכות בנוף מתון (שליב, 1991). מכילה שכבות של קונגלומרטים עם חלוקים של גירים, סלעי קירטון וגיר שהורבדו בסביבות אגמיות, ושכבות של חול וסילט גיריים.

מספר זרמים של הבזלת התחתונה המשולבים בין השכבות של תצורת הורדוס אפשרו לקבוע את גילה בשיטת K/Ar לפרק הזמן שבין 17 מיליון שנה ל 11 מיליון שנה, בדומה לזה של הבזלת התחתונה (שליב, 1991). בחתך של מצוק פוריה תוארכו שני זרמים של בזלות בתצורת הורדוס בשיטת $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, גיל הזרם התחתון - 16.05 והעליון - 13.36 מ"ש (Segev, 2000). עובי התצורה לפחות 700 מטרים. היא מונחת באי-התאמה אירוזיבית וזוויתית על גבי יחידות מגילים שונים (Mimran, 1984; שליב, 1991) ומכוסה במגע של אי-התאמה על ידי תצורות אום סבונה או בירה (שליב, 1991).

תצורת אום סבונה (קונגלומרט אום סבונה) (אהרון, 1997 בעקבות שולמן, 1962)
מורכבת מיחידות של קונגלומרטים וסלעים פירוקלסטים ביחסים משתנים (Shirav et al., 1995; אהרון, 1997). במספר אתרים בעמק הירדן התצורה מכילה זרמי בזלת ובאזור נחל תבור נמצאו בה פצצות וולקניות בגודל של 0.50 מ'. עובי התצורה משתנה בין 0 ל 200 מ'. היא מונחת באי-התאמה אירוזיבית על הבזלת התחתונה ועוברת בהדרגה לתצורת בירה (שולמן, 1962). על סמך שיטת K/Ar ויחסי שדה העריך שליב (1991) שהתצורה הורבדה לפני 10 - 7 מ"ש, אך בעיקר בין 8.5 עד 7 מ"ש.

תיארוך בשיטת $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של בזלות מתוך התצורה בכוכב הירדן נתן גילים של 10.7 עד 10.1 מ"ש, ובהתחשב בגיל גג הבזלת התחתונה עליו מונח חתך זה, נראה שהיא החלה להצטבר באזור זה לאחר 10.2 מ"ש לפני זמננו (Rozenbaum et al., submit. (איור 3). התצורה הורבדה בסביבה יבשתית באגנים שנוצרו כתוצאה מפעילות טקטונית אינטנסיבית מלווה בפעילות וולקנית שיצרה תבליט חריף (שולמן, 1962; שליב, 1991).

תצורת בירה (שליב, 1991 בעקבות שולמן, 1962)

היחידה מורכבת ממגוון סלעים גדול ומאופיינית בשינויי פאציאס מהירים. מרכיביה כוללים דולומיט, גיר, חוואר, גבס ומלח וכן מספר זרמי בזלת. החלק התחתון של התצורה מתעשר במקומות אחדים במרכיבים פירוקלסטים. בגג התצורה מופיעה יחידה של גיר צדפות (יחידת "הלומשל") המוכרת מעמק יזרעאל המערבי ועד דרום הגולן, ומייצגת חדירה ימית קצרה (Blake, 1936; שולמן, 1962; שליב, 1991).

עובי התצורה משתנה מ 0 עד יותר מ 350 מ' וגילה נקבע בעבר ל 7-5.3 מ"ש' על בסיס תיארוך בשיטת K/Ar של זרמי בזלת המשולבים בחתך (שליב, 1991). שני זרמי בזלת בחתך של כוכב הירדן (תחנה 1) תוארכו בשיטת $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ונתנו גילים של 9.1 - 8.5 מ"ש' (Rozenbaum et al., submit.). בהסתמך על גילים אלה, גילי תצורת אום סבונה וקצב הסדימנטציה המחושב מתוך עובי החתך שבין שני זרמי הבזלת, הוערך שתצורת בירה הורבדה בין 10 ל 7 מ"ש' לפני זמננו.

מאספי האוסטרקודים בתצורת בירה מעידים על סביבת השקעה אגמית מגוונת המשתנה בין מים מתוקים לבראקיים עם תקופות של שינויים קיצוניים במליחות המים עד ליצירת תמלחות היפרסליניות (Rosenfeld et al., 1981). ניתוח של אופקים עשירים במאספי מקרופאונה מהחתך בנחל תבור (Shaked Gelband et al., 2012, 2014) הצביע על סביבת השקעה של מים מתוקים עד בראקיים וחמישה אירועים של חדירת ים. הגבול של תצורת בירה עם תצורת גשר מאופיין על ידי מישור מגע של אי-התאמה לפעמים אירוזיבי ולפעמים אי-התאמה מקבילה (paraconformity) (איור 3).

תצורת גשר (שולמן, 1962)

מורכבת משלושה פרטים. הפרט התחתון f1 או "הגיר הלווחי" (Picard, 1932; שולמן, 1962) בנוי שכבות דקות עד למינריות של דולומיט ו/או חוואר רך, ללא שרידי פאונה למעט קשקשי דגים (כליפא, 1993). הפרט האמצעי f2 או "האואוליס העיקרי" (Bentor, 1946; שולמן, 1962) בנוי מגירים דטריטים וגירים אואליטים בשיכוב בינוני עד גס, עם מקרופאונה של מים מתוקים. בנוסף, מופיעות בו שכבות ונודולות של צור. הפרט העליון f3 או "השכבות המגוונות" (שולמן, 1962) מכיל כמות גדולה של שכבות חרסיתיות ואופקים עם פאונה של מים מתוקים. עובי התצורה בין 0 ל 110 מ', אולם בדרך כלל בין 20 ל 50 מ' (Blake, 1936; שולמן, 1962; שליב, 1991) והיא מכוסה באי התאמה ארוזיבית המלווה בפאלאוסולים וקונגלומרטים של יחידת טוף פיג'אס או בזלת הכיסוי. בעבודה הנוכחית נמצא שתצורת גשר מכילה בנוסף ליחידות הגיר גם שכבות של דולומיט וגיר דולומיטי, שחלקם הם בעלי טקסטורה ברכואידית. יחידות רבות מכילות פירוקלסטים שחלקם התבלה לבנטוניט.

שולמן (1962) קישר את הליתולוגיה של פרט f1 עם שינויים במליחות עקב ניתוק הדרגתי מהים. בנוסף לכך הוא הציע שפרט f2 שקע בסביבות אגמיות של מים מתוקים. לעומת זאת (Rosenfeld et al., 1981) טענו שמאסף האוסטרקודה מצביע על שינויים במליחות. שלב (1991) מציין שתצורת גשר הורבדה באגם רדוד, תוך כדי שינויים בעומק המים עד כדי חשיפה.

לפי מדידות K/Ar בזרמים של בזלות העריך שלב (1991) שגיל תצורת גשר מקביל לחלקה התחתון של בזלת הכיסוי (מ 5.3 מ"ש עד 4.8 מ"ש). על בסיס גילי $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של בסיס בזלת הכיסוי וזרמי בזלת בטוף פיג'אס הוערך שהתצורה החלה לשקוע לפני 6-7 מיליון שנה (Rozenbaum et al., submit) (איור 3).

יחידת טוף פיג'אס (שולמן, 1962)

בנויה מטוף, זרמים של בזלות, קונגלומרטים, קרקעות ויחידות חרסיות (Rozenbaum et al., submit). היא הוגדרה לראשונה על ידי שולמן (1962) באזור נחל יבנאל, אך אותרה במחקר הנוכחי במספר אתרים נוספים בשוליים המערביים של עמק יזרעאל המזרחי ובגליל התחתון (נחל חמוד ורמת סירין). הטופים מופיעים מעל הפרט f2 או מעל הפרט f3 של תצורת גשר, לפעמים גם בין השכבות של f2 ו-f3 ובמקומות אחדים החתך כולו עובר בהדרגה לסלעים פירוקלסטים (Rozenbaum et al., in prep.). המעבר לבזלת הכיסוי הוא הדרגתי (שולמן, 1962) ולכן שלב (1991) מגדיר את טוף פיג'אס כפרט האקספלזיבי של בזלת הכיסוי. עובי התצורה בין 0 ל 70 מ'. לפי מדידות K/Ar בזרמים של בזלות, שלב (1991) סבור שגיל היחידה בין 5.0 מ"ש ל 4.6 מ"ש. גילי $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של מספר זרמי בזלת בתוך הסלעים הפירוקלסטים נתנו טווח בין 4.9 ל 4.6 מ"ש (Rozenbaum et al., submit.) (איור 3).

בזלת הכיסוי (שולמן, 1962)

רצף בזלות המכסה את הרמות הנטויות של הגליל התחתון (שולמן, 1962). הבזלת זרמה על פני שטח בעל תבליט נמוך, והיא מונחת במקומות אחדים על רצף של סדימנטים פלוביאליים וקרקעות ומכוסה בדרך כלל בקרקעות סדימנטים פליסטוקנים או באלוביום. המגע בינה לבין יחידת טוף פיג'אס הוא לעיתים הדרגתי ולעיתים אירוויבי. העובי המירבי של היחידה 150 מ' (שולמן, 1962).

גופי מחדר הקשורים לשפיעת בזלת הכיסוי (דייקים, סילים, מחדרים) נמצאו במקומות רבים (Illani and Peltz, 1997; Heimann et al., 1996). טווח הגילים של היחידה לפי שיטת K/Ar ו $^{40}Ar/^{39}Ar$ הוא בין 5.5 ל 3.5 מ"ש (Heimann et al., 1996). גילי $^{40}Ar/^{39}Ar$ של בסיס של הבזלת הכיסוי במספר מקומות נתנו טווח שבין 5.1 ל 4.6 מ"ש (Rozenbaum et al., submit.). לכן נראה ששפיעת הבזלת הכיסוי החלה תוך כדי ההשקעה של גג תצורת גשר וטוף פיג'אס (איור 3).

תצורת ארק אל אחמר (Tchernov, 1975; Horowitz, 1974)

מורכבת משכבות של חרסית, סילט, חול, קונגלומרט, וחואר. מספר יחידות בחתך עשירות מאוד ברכיכות ושרידי של דגים וכן נמצאו שרידי צמחייה. רוב החתך הורבד בשלב הראשון בסביבה אגמית של מים מתוקים עד בראקיים. בשלב שני הורבדו קונגלומרטים באפיק של נחל עם נפתולים ובשלב שלישי שקע חואר בסביבה אגמית עם אנרגיה נמוכה (Heimann and Braun, 2000). עובי היחידה החשוף הוא 75 מ'. בהסתמך על שיקולים סטרוקטורליים העריכו Heimann and Braun (2000) את העובי המירבי ב 500 מ'. שכבות היחידה נטויות מזרחה בשיעור העולה מ כ 15° במזרח ל 60° - 90° במערב, בסמוך למחשוף בזלת הכיסוי (שולמן, 1962; בראון, 1992) (איורים 2 ו 5). גיל התצורה הוערך תחילה כ 2-1.5 מ"ש על בסיס ניתוח של רכיכות ופולן (Horowitz, 1989; Tchernov, 1986) ופלאומגנטיות (Braun et al., 1991). גילי קבורה של איזוטופים קוסמוגנים ומגנטוסטרטיגרפיה נתנו טווח גילים בין 5.3 ל 3.6 מ"ש (4.4 ל 3.1 מ"ש גיל מתוקן (Davis et al., 2011) (איור 3).

פלאוגיאוגרפיה בעמק הירדן המרכזי

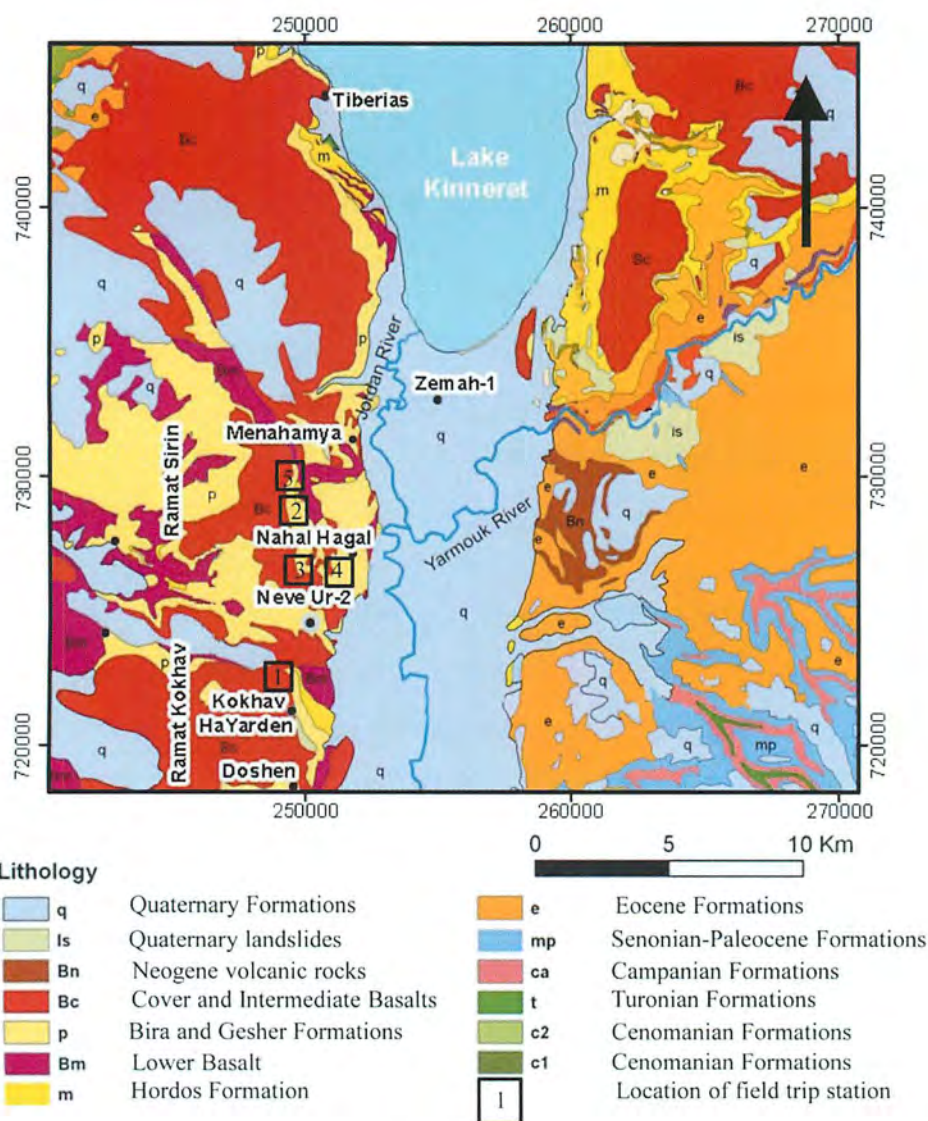
החתך הנאוגני בצפון ישראל הצטבר באגן שגבולותיו חרגו מאלה של עמק הירדן הנוכחי וכללו את עמק יזרעאל והגליל התחתון (שולמן, 1962; שליב, 1991). התעבות החתך ניכרת באגן כינרות ביחס ליתר האזורים רק החל מזמן הרבדת תצורת בירה כלומר, בתחילת המיוקן המאוחר (Meiler et al., 2008). ההרבדה של תצורת אום סבונה התרחשה במערכות פלוביאליות, בסביבה טקטונית וולקנית פעילה שעיקרה פליטת פירוקלסטים שגרמה לשינויי עובי ופאציאס תכופים במרחב.

הפעילות הטקטונית והוולקנית נמשכה במהלך הרבדת תצורת בירה בתוך מערכת גופי מים שכיסו את הגליל התחתון ועמק הירדן. קשר לא רציף עם הים הפתוח במערב, שלווה בהצפות חוזרות של האזור, גרם לשינויים תכופים באופי גופי המים באזור זה ולהרבדה של מגוון סלעי משקע קרבונטים, בעיקר דולומיטים וגירים דולומיטים וכן סדימנטים קלסטים דקי גרגר. תנאי מליחות משתנים בין מים מתוקים לסביבות היפרסליניות מאפיינים את תצורת בירה. מאסף המאובנים שנמצא בחמש השכבות שהורבדו על ידי הצפות ימיות בחתך של נחל תבור, מצביע על תנאי עקה אקולוגיים (Shaked Gelband et al., 2012, 2014).

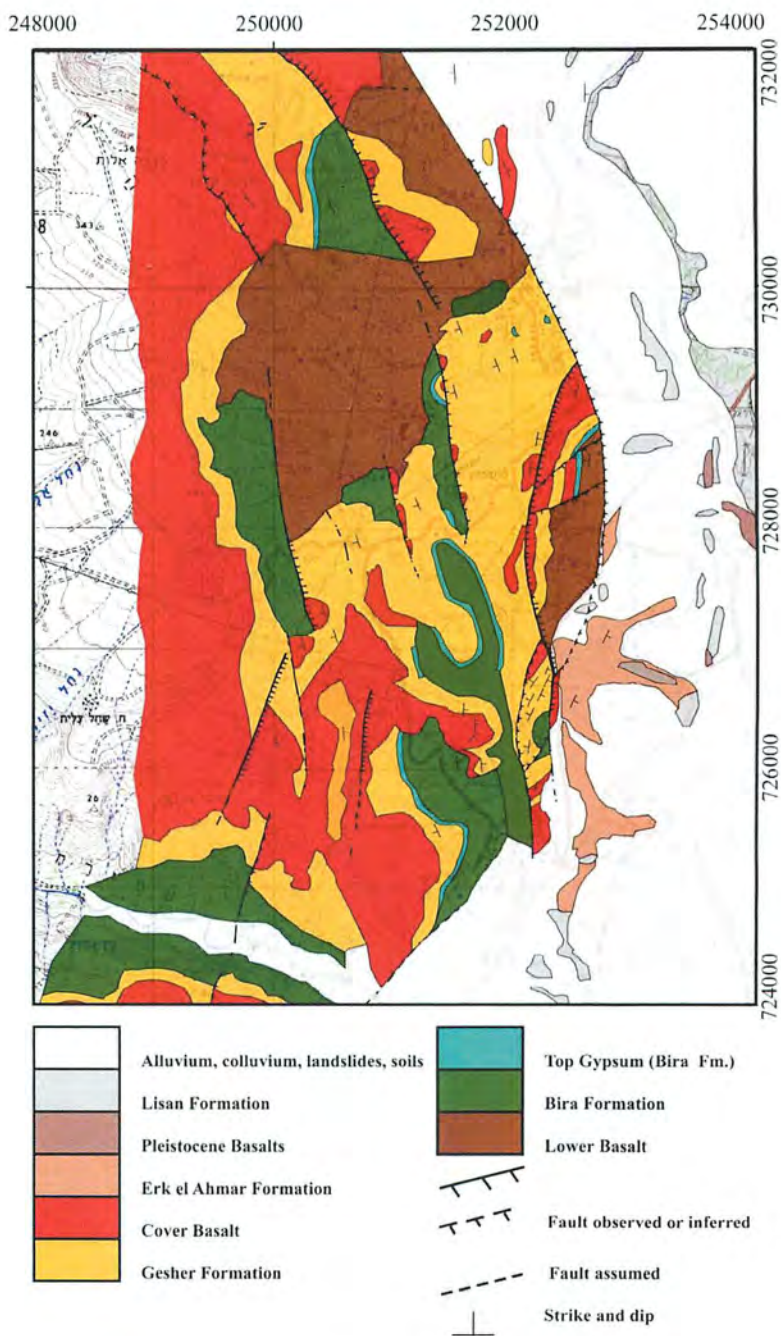
חתכים עבים של תצורת בירה שהורבדו באגן כנרות, שהחל להתפתח בתחילת המיוקן המאוחר (Meiler et al., 2008) מכילים גופי גבס ומלח (Marcus and Slager, 1985; Bruner et al., 2000) ששטחם מוערך בכ- 200 קמ"ר (שליב, 1991). סביבת ההרבדה האוופוריתית התפשטה אל שולי אגן כינרות לקראת סוף הרבדת תצורת בירה, אך באזור זה הצטבר גבס בלבד. (Marcus and Slager, 1985) ושליב (1991) העריכו שהאוופוריתים בעמק הירדן קורלטיביים עם תצורת סדום ואילו Cohen (1997) קשר אותם לאירוע המסיני. מישור אי התאמה, המלווה בסדימנטים פלוביאליים, מפריד באזור נחל חגל בין תצורות בירה וגשר ומצביע על אירוע של הרדדה וחשיפה.

הפעילות הטקטונית התמתנה בזמן הרבדת תצורת גשר אך פעילות וולקנית שעיקרה פליטת פירוקלטים נמשכה והתחזקה במקביל לתחילת השפיעה של בזלת הכיסוי. תצורת גשר הורבדה בגופי מים בעלי מליחות משתנה והליתולוגיה שלה נשלטת על ידי קרבונטים משוכבים, כולל סלעי מיט וגירים דולומיטים. הריבוי של הסלעים הקרבונטים הברוכאידים בחתך מ על סביבה אגמית רדודה בה הקרקעית נתונה להשפעת בסיס הגלים. בנחל חמ בל של נחל תבור) נמצאה בגג התצורה שכבה המכילה פאונה ימית (Shaked Gelband et al., in prep.). זוהי העדות היחידה לחדירה ימית במהלך הרבדת תצורת ג

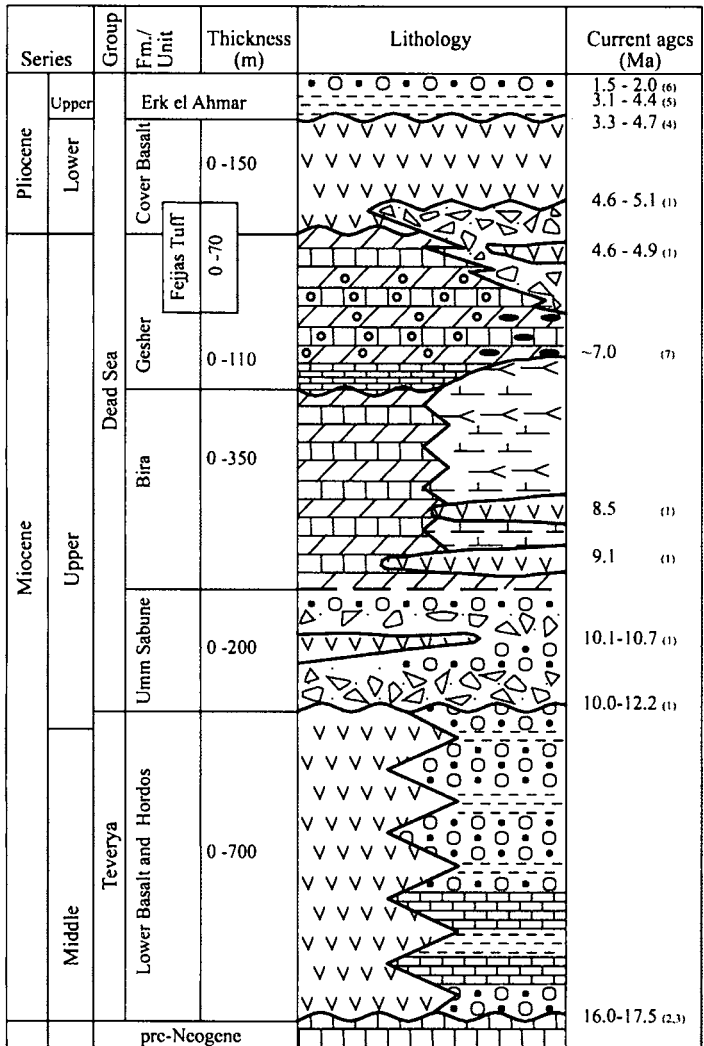
גג תצורת גשר יצר מפלס רצי וולי הבקע, שהיו חשופים לתהליכי בלייה וסחיפה שיצרו נוף מתון עליו זרמה מאוחרת לשפיעת בזלת הכ לתחומי השקע ההולך ומו (איור 5).



איור 1. מפת עמק הירדן המרכזי עליה מסומנים מסלול הסיור והתצורות והיחידות חשופות באזור (על פי שנה ואחרים, 1998).



איור 2. מפה גיאולוגית של אזור עמק הירדן המרכזי (על פי שולמן, 1959; בראון, 1992).



Legend

	Basalt		Clay		Limestone		Dolostone
	Pyroclastic Rock		Conglomerate		Gypsum		Marl
	Oolitic limestone		Laminated limestone		Chert /opal		Unconformity

איור 3. חתך סטרטיגרפי מוכלל של התצורות והיחידות המיוקניות והפליוקניות בעמק הירדן המרכזי. הגילים (מ'ש') של בזלות ופירוקלסטים מוצגים בעמודה הימנית. 1- גילי $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של המחקר הנוכחי (Rozenbaum et al., submit.). 2- גילי K/Ar על פי (שליב, 1991). 3- גילי $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ על פי (Segev, 2000). 4- טווח הגילים בשיטות K/Ar ו $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ על פי (Heimann et al., 1996). 5- גילי קבורה של איזוטופים קוסמוגניים על פי (Davis et al., 2011). 6- טווח גילי התצורה על פי ניתוח פלאונטולוגי (Tchernov, 1986; Horowitz, 1989) ופלאומגנטיזם (Braun et al., 2001). 7- חישוב הגיל לפי קצב הסדימנטציה בין גיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ בגג בזלת התחתונה וגיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ בבסיס בזלת הכיסוי ולפי עובי החתך בין הבזלות.

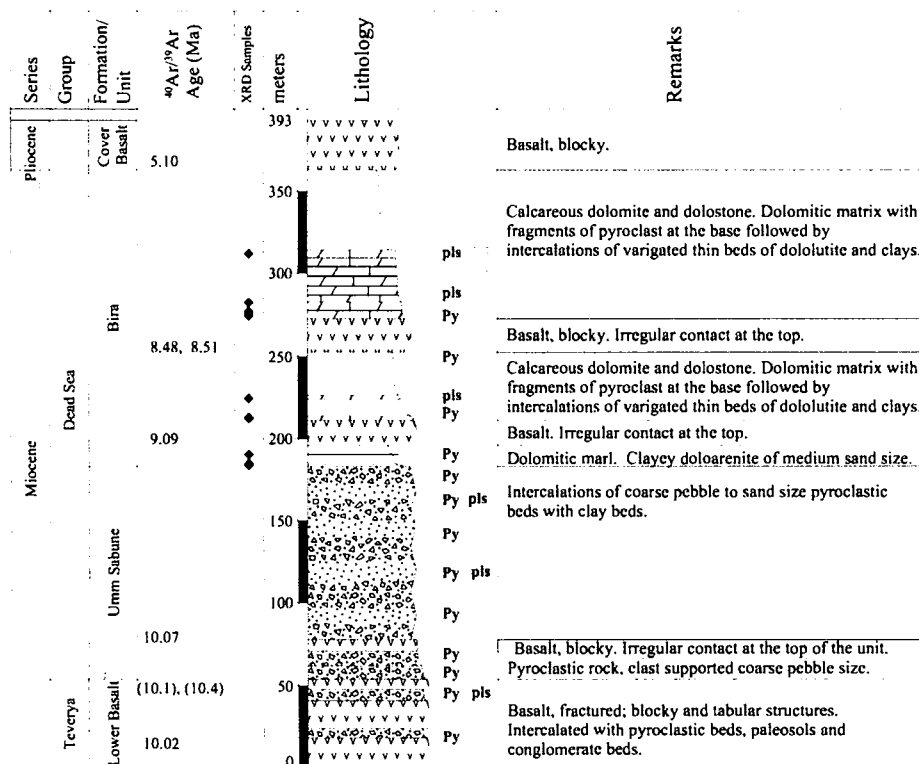
תחנה מס 1 – כוכב הירדן נ.צ. 2492120/722120**גובה - 280 מ' מעל פני הים**

תצפית כללית על בקעת הירדן. סקירה על הגיאולוגיה והמורפולוגיה של אזור עמק הירדן והגליל התחתון המזרחי.

נקודת התצפית נמצאת בראש מתלול מורפוטקטוני בו חשוף חתך שעוביו כ 400 מ'. בסיסו בנוי מחלקה העליון של הבזלת התחתונה, מעליה תצורות אום סבונה ובירה וגג החתך בנוי מבזלת הכיסוי. תצורת גשר חסרה בחתך זה (איור 4). עובי מחשוף **הבזלת התחתונה** כ-54 מ' והוא מורכב מחילופים של זרמים, פלאוסולים, פירוקלסטים וקונגלומרטים. גיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של גג הבזלת התחתונה הוא 10.1 מ"ש'.

עובי **תצורת אום סבונה** הוא כ-130 מ' והיא בנויה ממספר יחידות קלסטיות שבסיס כל אחת בנוי מסדימנטים פלוביאלים משוכבים המכילים בעיקר חלוקי בזלת במטריקס חולי פירוקלסטי ואילו גג היחידות בנוי מחרסיות אדומות. זרם בזלתי בתוך התצורה שנתן גיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של 10.07 מ"ש' זוהה במספר יובלים וקידוחים בבלוק של כוכב הירדן. המעבר לתצורת בירה הוא הדרגתי.

תצורת בירה בנויה מחתך בעובי של כ 180 מ' שעיקרו דולומיט ודולומיט גירי עם חווארים דולומיטים ומעט פלאוסולים קרבונטיים. שני זרמי בזלת משולבים בחתך כאשר הסדימנטים הקרבונטים מעליהם ומתחתם מכילים כמות גדולה של גרגרים פירוקלסטים. מרכיבים פירוקלסטים נמצאו לאורך כל החתך בכוכב הירדן כאשר ממדיהם קטנים מבסיס החתך (גודל של חלוקים) כלפי חלקו העליון (גודל חול וסילט), עדות לפעילות וולקנית מתמשכת בזמן הרבדת החתך. גיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של הזרם התחתון הוא 9.09 מ"ש' ושל הזרם העליון 8.5 מ"ש'. תצורת גשר חסרה והדבר מעיד על גידוע הקודם לשפיעת **בזלת הכיסוי** שעוביה באזור זה מגיע לכ- 60 מ'. גיל $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ של בסיס בזלת הכיסוי באזור זה הוא 5.1 מ"ש' (איור 4).



Legend

vvvv Basalt
 pyroclastic rock
 dolostone
 calcareous dolomite
 marl
 talus

Py Pyroclastic fragments (> 5 cm.)
 Bedding
 pls Paleosol
 8.49 Plateau age
 (17.10) Total fussion age

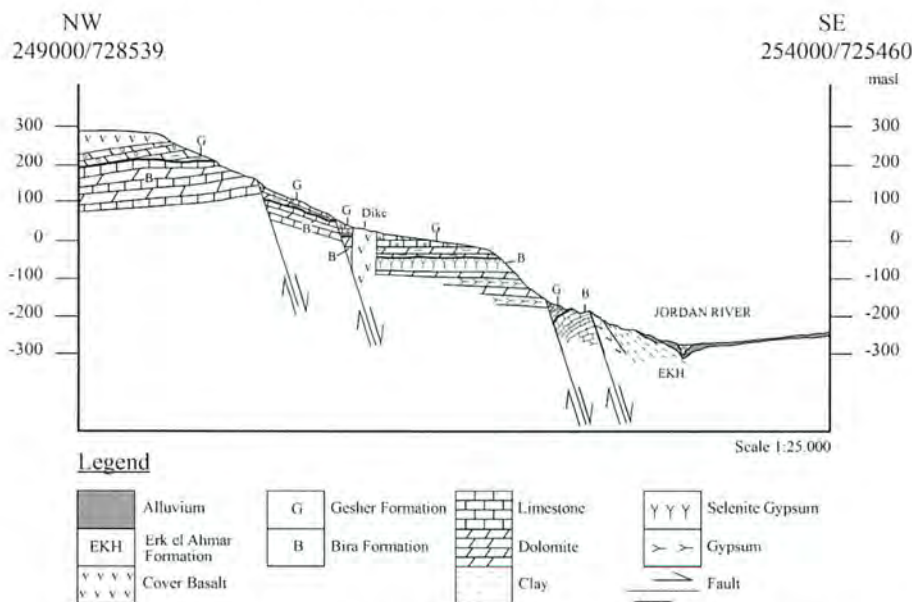
איור 4. חתך עמודי וגילי $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ בכוכב הירדן. גג החתך בנצ. 249480/721042, גובה - 230 מ' מעל פני הים.

תחנה מס 2 – צומת נחל טולה נ.צ. 250800/727850,

גובה - 45 מ' מעל פני הים

תצפית על החתך הנאוגני של המדרונות המזרחיים של רמת סירין שגגה בנוי מבזלת הכיסוי וסלעים פירוקלסטים (איור 2).

מערכת העתקים נורמליים ותהליכי גלישה גרביטטיביים, הורידו את החתך החשוף כיום בשולי עמק הירדן מחלקו העליון של מתלול רמת סירין (איור 5). בין אזור נחל תבור לרמת סירין תצורת בירה מורכבת בעיקר מסלעים קרבונטיים בעוד שלאורך שולי עמק הירדן, מופיעות בחלקה העליון יחידות של גבס בשילוב עם דולומיטים, חוואר וגיר. באזור הסיור אפשר לראות את המגע בין גג תצורת בירה ובסיס תצורת גשר (איור 2). כאן בנויה תצורת גשר משלושת הפרטים שלה, אולם ברוב החתכים מופיעים רק שני הפרטים התחתונים. דייקים וסילים של בזלת הכיסוי חודרים את החתך החשוף במדרונות היורדים אל עמק הירדן. תהליכי העתקה וגלישה הציבו את מחשוףי הגבס במפלסים טופוגרפים שונים בהם התקיימו מחצבות שחלקן ננטשו. רצועת המחצבות משתרעת מצמח עד מערבה לנחל תבור (בייט, 1996; שגב ווקס, 1979; אביטל, 1981; מורג, 1989) ונחל יששכר (שגב ומושקוביץ, 1985). יחידות הגבס בשולי עמק הירדן מנוצלות לצרכים שונים החל מתחילת המאה העשרים (Blake, 1936) ומפעל הגבס של קיבוץ גשר מייצר מוצרים שונים מאז שנת 1986.



איור 5. חתך רוחב סכמטי בכיוון צפ-מז' דס'-מז' לאורך נחל חגל.

תחנה מס 3 – נחל חגל מערב נ.צ. 251060/727230

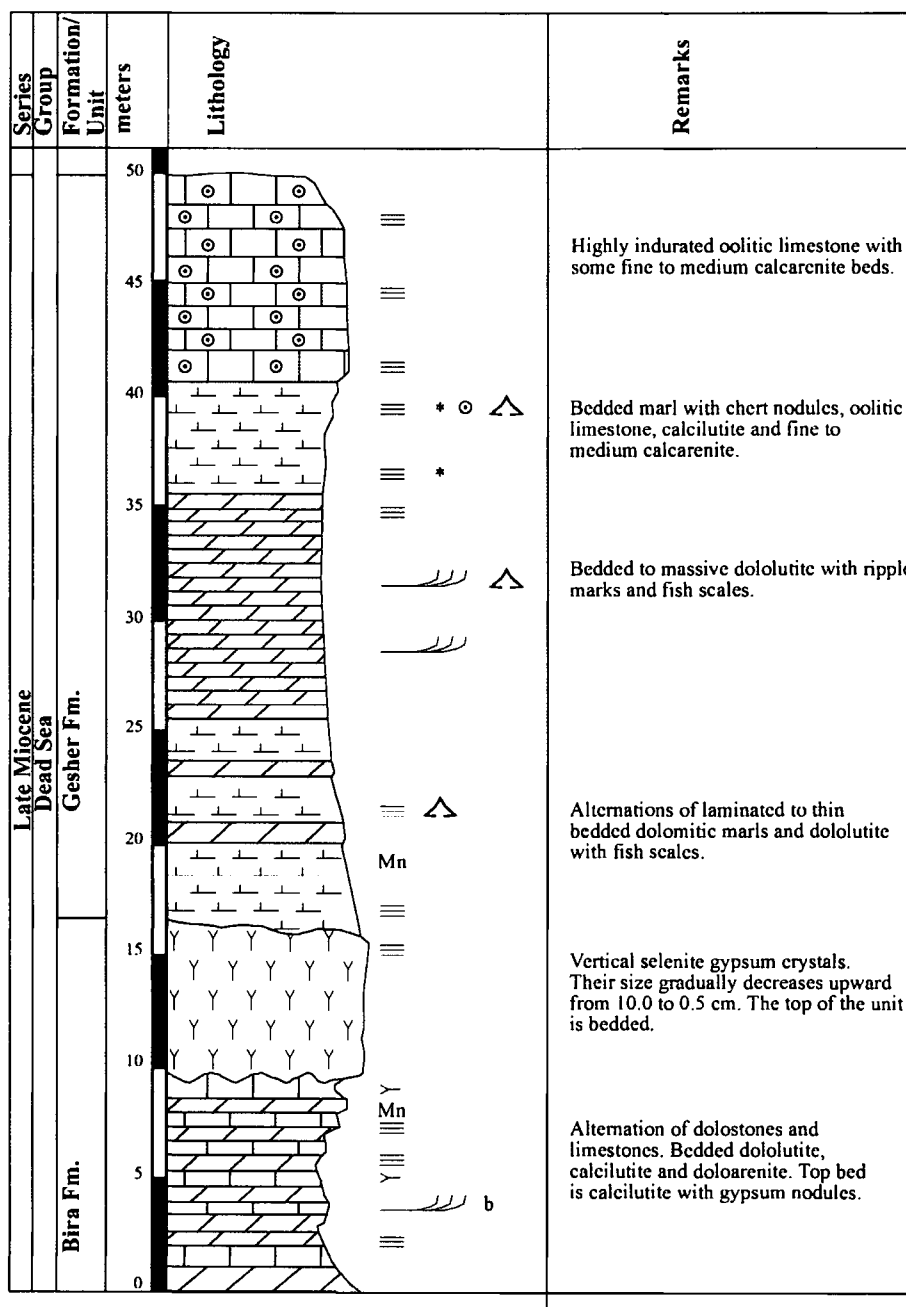
גובה - 10 מ' מתחת לפני הים

תצפית על תצורות בירה וגשר – סטרטיגרפיה וסביבות השקעה.
נחל חגל מתחת בבלוק הבנוי מתצורות בירה וגשר שהורדו למקומן הנוכחי מרמת סירין על ידי אחד מהעתקי השוליים של הבקע (איורים 2 ו 5). עובי החתך החשוף כ 50 מ' (איור 7). עובי **תצורת בירה** כ 15 מ' והיא מורכבת כאן מחילופים בין שכבות גיר ודולומיט עם שכוב צולב ונדולות של גבס. גגה בנוי מדרגש אפור בולט בעובי של כ-7 מ' הבנוי מגבס פאלמטי (סלניטי) עם גבישים אנכיים מטיפוס "זנב סנונית". המגע עם תצורת גשר הוא אירגולרי (כנראה מישור אי התאמה). עובי **תצורת גשר** הוא כ 35 מ' והיא כוללת יחידה רכה של חוואר ודולומיט רך עם שכוב צולב, דרגש של גיר אואוליטי וחילופים של חוואר ודולומיט משוכב עם צור נדולרי. צמוד לחתך חשוף דייק עבה של בזלת הכיסוי (איורים 2 ו 5).

LEGEND

	Limestone		Gypsum		Clay
	Dolostone		Selenite Gypsum		Alluvium
	Marl		Conglomerate		Talus
	Oolitic Limestone		Fossiliferous Limestone		Bentonite
	Bedding		Cross Bedding		Gypsum
	Mn Manganese coatings		Fish scales		Chert/opal
	Oolite		Brecciated structure		Algae
	Gastropods		Bivalves		Cell structure
	Pyroclastic fragments (> 5 cm)		Clay fragments		Sill
	Ostracods		Fossil bone		Chert clasts

איור 6. מקרא לחתכים סטרטיגרפים (איורים 7, 8 ו 9).



איור 7. החתך הסטריטיגרפי באזור המערבי של נחל חגל. גג החתך בנצ. 251400/727000, גובה - 10 מ' מתחת לפני הים.

תחנה מס 4 – נחל חגל עד כביש 90, נ.צ. 252160/726550,

גובה - 160 מ' מתחת לפני הים

בחלק המזרחי של נחל חגל, צמוד להעתק השוליים המערבי, חשוף חתך של תצורות בירה וגשר בעובי של כ 76 מ' (איור 8). החתך יוצר קמט שכוב (recumbent fold) (איור 5) ומבנה של חצי כיפה התחום בין שני העתקים מרצועת הגזירה של שולי עמק הירדן. החתך נטוי בשיעור של 40° – 70° למערב (איורים 2 ו 5). **תצורת בירה** (כ 50 מ' עובי) מורכבת כאן מחילופים של דרגשי גיר מאובנים ויחידות רכות המכילות גבס ומכוסות לרוב בקרקע או טאלוס. דרגשי המאובנים מכילים שברי צדפות ושבלולים וכן אוסטרקודה, במטריקס של חול גירי עם ליכוד קלציטי. באחד הדרגשים נמצאה עצם (אומרוס) של יונק (איור 8). לשכבות הגבס סטרוקטורות שונות: שיכוב דק בחילופים עם דולומיט, שיכוב צולב, וכן מבנה נודולרי. מאסף הרכיכות בתצורת בירה מעיד על סביבת מים מתוקים-בראקיים. החילופים של שכבות גיר מאובנים עם גבסים מעידים כנראה על מחזורים של סביבה מתוקה-בראקית וסביבה היפרסלינית. המאובנים בחלק מהשכבות מופיעים כרסק ביוגני המעיד על אנרגיית מים גבוהה במיוחד בקרקעית גוף המים, כנראה בסביבות הרבדה חופיות. לדעת (Shaked, Gelband et al., in prep.) קיים דמיון רב בין המאסף הפאונסיטי של תצורת בירה בנחל חגל ובנחל תבור לפציאס ה "Lago-Mare" בגג החתך המסיני בשולי הים התיכון.

המגע בין תצורות בירה וגשר הוא ארוזיבי. החלק התחתון של תצורת גשר חסר ובסיס החתך בנוי מקונגלומרט פולימיקטי עם חלוקים גדולים של בזלות ופירוקלסטים וחלוקים קטנים ובינוניים של קרבונטים, צור וגבס שנגזרו מתצורות בירה וגשר. הקונגלומרט מכוסה ביחידות של גיר אואוליטי בחילופים עם שכבות ונודולות של צור. בגג החתך יש יחידה דולומיטית.

נראה שבסיס החתך של תצורת גשר מייצג סביבת השקעה פלוביאלית שהתפתחה עקב חשיפה של האזור לתהליכי סחיפה. לאחר מכן עולה מפלס האגם בשנית ומתפתחת סביבה רדודה, לפעמים עם אנרגיה גבוהה, ובה מורבדים צור ודולומיט.

תחנה מס 5 – מחצבת הגבס של מנחמיה נ.צ. 251560/729065,**גובה - 90 מ' מתחת לפני הים**

במחצבת מנחמיה, שהייתה נטושה מספר שנים, חודשה לאחרונה הפעילות. עבודות הכרייה חשפו חתך ייחודי של שכבות גבס מגג תצורת בירה ועליהן חתך פלוביאלי צעיר של כ-54 מ (איור 9). החתך תואר בעבר על ידי בייט (1966) ושגב ווקס (1979). בקיר הדרומי של מחצבת מנחמיה חשופה יחידה אוופורוטית של תצורת בירה שעוביה בין 10 ל 20 מ'. היא בנויה שלוש יחידות: בבסיס שכבת גבס מסיבית בהירה, מעליה יחידה דקה של גבס שחור עם צורה קעורה ובגג גבס קלסטי בצבעים בהירים וכהים. המגע עם היחידה הפלוביאלית הוא של אי-התאמה אירוזיבית. הגבס מורכב בעיקר מגבישים מאורכים (1-2 מ"מ) (מורג, 1989) ומכיל גבישי מגנטיט (1-3 מ"מ) (הידרוגרסולר ודיאופסיד (Nissenbaum et al., 1977)). בתוך החתך של הגבס פזורות בצורה לא רגולרית עדשות של אנהידריט (מורג, 1989). החתך הפלוביאלי מורכב מחילופים של סדימנטים גסים (קונגלומרטים) ודקים ומכיל פלאוסולים. השיכוב תת-אופקי והיחידה מכילה מרכיבים שנגזרו מתצורות בירה וגשר, כולל שכבות הגבס, וכן מבזלת. גג היחידה מהווה חלק מטרסה צעירה הנמשכת מזרחה ונמצאת כיום כ 100 מ' מעל קרקעית עמק הירדן. הרכב החלוקים בטרסה משקף את החתך החשוף כיום במתלול של רמת סירין ונראה שהיא הורבדה לאחר השלב הטקטוני העיקרי של רצועת הגזירה והגלישות המפרידה בין רמת סירין לבקע ים המלח.

Series	Group	Formation/ Unit	meters	Lithology	Remarks
Pleistocene	Dead Sea	Alluvium	50		Light brown clayey matrix with basalt fragments of pebble to cobble size.
		Fluviatile Unit	40		Brown to dark brown silty clay material with columnar structures.
Late Miocene	Bira Fm.		30		Light red highly indurated conglomerate with carbonatic matrix, clast of carbonates, basalt and chert from fine pebble to cobble size.
			20		Brown to reddish brown conglomerate with clayey matrix, clasts of carbonates, basalt and gypsum.
			10		Green marl with fragmens of gypsum.
			0		White and black clastic gypsum.
					Black gypsum.
					Light gray massive gypsum.

איור 9. החתך הסטרטיגרפי במחצבת מנחמיה. גג החתך בנצ. 251560/729065, גובה – 90 מ' מתחת לפני הים.

מקורות

אהרון, ל., 1997. מערכת מגמתית רדודה מגיל מיוקן, הלוע הוולקני של נחל תבור. משרד התשתיות הלאומיות. המכון הגיאולוגי. דו"ח מס' 13/97 / GSI, ירושלים, תמוז, תשנ"ז, 91 עמ' (תקציר באנגלית).

אביטל, י., 1981. סכום סקר ראשוני ותכנית לסקר גיאולוגי מקיף בשטח גשר. הוכן עבור: קבוצת גשר. יהוא אביטל – גיאולוגיה ומחצבים. דו"ח מס' יא/44/81, 20 עמ'.

בייט, מ., 1966. סקר מרבצי גבס באזור גשר. משרד הפתוח. המכון הגיאולוגי. המחלקה למינרלוגיה-פטרולוגיה ומחצבים. דו"ח מס' מ.פ. 165/66, 7 עמ' (כולל נספחים).

בראון, ד., 1992. הגיאולוגיה של אזור אפיקים. עבודת גמר לתואר מוסמך למדעי הטבע. החוג לגיאולוגיה. המכון למדעי כדור הארץ. האוניברסיטה העברית בירושלים, 93 עמ' (תקציר באנגלית).

כליפא, י., 1993. מחקרים בדגים מאובנים מתצורת גשר, פליוקן תחתון. האוניברסיטה העברית. מדינת ישראל. משרד האנרגיה והתשתית. מנהל המחקר למדעי האדמה. דו"ח ES-92-53, 23 עמ'.

מורג, י., 1989. סיור למרביצי הגבס בצפון מערב עמק הירדן. ספר מדריך סיורים. הכנס השנתי של החברה הגיאולוגית הישראלית, רמות, 78-85 עמ'.

סנה, ע., ברטוב, י., רוסנספט, מ., 1998. המפה הגיאולוגית של ישראל, 1:200,000. גיליון 1- המכון הגיאולוגי של ישראל.

שגב, ע., וקס, ד., 1979. סקר גיאולוגי-גיאופיסי ניסיוני לאיתור גופי הגבס באזור מנחמיה. משרד האנרגיה והתשתית. המכון הגיאולוגי. המחלקה למינרלוגיה, פטרוגרפיה ומחצבים. דו"ח מס' מ.פ. 588/79, 12 עמ'.

שגב, ע., מושקוביץ, ש., 1985. סקר גיאולוגי לאיתור גבס באזור דושן (נחל יששכר). משרד האנרגיה והתשתית. המכון הגיאולוגי. האגף למחצבים ומקורות האנרגיה דו"ח מס' GSI/17/85, 9 עמ'.

שולמן, נ., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת גמר לתואר דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 103 עמ' (תקציר באנגלית).

שליב, ג., 1991. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של האגן הנאוגני בגליל התחתון ובעמקים. משרד האנרגיה והתשתית. המכון הגיאולוגי. דו"ח GSI/11/91, 94 עמ' (תקציר באנגלית).

Bentor, Y., 1946. The hydrogeological conditions of the area of Tiberias-Kinneret-Yavneel-Hadatha-Kfar Kama-Lubya (Lower Galilee). Reported submitted to the Palestine Water Commission, Jerusalem, 34 pp. and geological map 1:20000.

Blake, G.S., 1928. Geology and water resources of Palestine Government, Jerusalem, 51 pp.

Blake, G.S., 1936. The stratigraphy of Palestine and its building stones: Jerusalem: Govt. Palestine print. Stationar. Off. 138 pp.

Braun, D., Ron, H., Marco, S., 1991. Magnetostratigraphy of the hominid tool-bearing Erkel Ahmar Formation in the northern Dead Sea Rift. Isr. J. Earth Sci., 40: 191-197.

Bruner, I., Gardosh, M., Rosenthal, E., 2000. The results of a new seismic survey in the Bet-Shean Valley and their implications for the development of water resources. Israel Geological Society Annual Meeting, Abstracts, Ma'alot, 23 p.

Cohen, A., 1997. The Menahemya gypsum in the Jordan Valley: The Messinian Mavqi'im Formation exposed. The Ministry of National Infrastructures. Geological Survey of Israel. Rep. GSI/2/97, 17 pp.

Davis, M., Matmon, A., Fink, D., Ron, H., Niedemann, S., 2011. Dating Pliocene lacustrine sediments in the central Jordan Valley, Israel-Implications for cosmogenic burial dating. *Earth and planetary Science Letters*, 305: 317-327.

Gardosh, M., Bruner, I., 1998. Seismic Survey in the Bet Shean area. Geophysical institute of Israel, Report 348/27/98, 13 pp.

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.

Heimann, A., Braun, D., 2000. Quaternary stratigraphy of the Kinnarot Basin, Dead Sea Transform, northeastern Israel. *Isr. J. Earth Sci.*, 49: 31-44.

Horwitz, A., 1974. The Late Cenozoic Stratigraphy and Paleogeography of Israel. Institute of Archeology, Tel Aviv University, 185 pp.

Horwitz, A., 1989. Palynological evidence for the Quaternary rates of accumulation along the Dead Sea Rift, and structural implications. *Tectonophysics*, 164(1): 63-71.

Hurwitz, S., Garfunkel, Z., Ben-Gai, Y., Reznikov, M., Rotstein, Y., Gvirtzman, H., 2002. The tectonic framework of a complex pull-apart basin: seismic reflection observations in the Sea of Galilee, Dead Sea transform. *Tectonophysics*, 359: 289-306.

Illani, S., Peltz, S., 1997. The Hamadya bomb-rich agglomerate: a case study of explosive Pliocene volcanism in the Jordan Valley, Israel. *Journal of African Earth Science*, 24(3): 325-334.

Marcus, E., Slager, J., 1985. The sedimentary-magmatic sequence of Zemah 1 well (Jordan-Dead Sea Rift, Israel) and its emplacement in time and space. *Isr. J. Earth Sci.*, 34: 1-10.

Meiler, M., Shulman, H., Flexer, A., Reshef, M., Yelin-Dror, A., 2008. A seismic interpretation of the Bet She'an basin. *Isr. J. Earth Sci.*, 57(1): 1-19.

Mimran, Y., 1984. Unconformities on the Eastern Flank of the Faria Anticline and their implications on the structural evolution of Samaria (Central Israel). *Isr. J. Earth Sci.*, 33: 1-11.

Nissenbaum, A., Nathan, Y., Sass, E., 1977. Contact metasomatism in a Neogene evaporitic sequence of the Central Jordan Valley-northern Israel. *Mineralogical Magazine*, 41: 233-238.

Picard, L., 1932. Zur geologie des mittleren Jordantales, Z. Deutsch. Palaestina Verenis, 55: 169-236.

- 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.
- Rotstein, Y., Bartov, Y., Frieslander, U., 1992. Evidence for local shifting of the main fault and changes in the structural setting, Kinarot basin, Dead Sea transform. *Geology*, 20: 251-254.
- Rozenbaum, A.G., Sandler, A., Zilberman, E., Stein, M., Jicha, B.R., Singer, B.S., Submitted. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronostratigraphy of Tortonian-Messinian continental aquatic basins in SE Galilee, Israel.
- Segev, A., 2000. Synchronous magmatic cycles during the fragmentation of Gondwana: radiometric ages from the Levant and other provinces. *Tectonophysics*, 325: 257-277.
- Schulman, N., 1959. The Geology of the Central Jordan Valley. *Bull. Res. Council of Israel*, 8G (Section G: Geo-Sciences) (2-3): 63-90.
- Shaked-Gelband, D., Edelman-Furstenberg, Y., Sandler, A., Zilberman, E., Stein, M., Starinsky, A., 2012. Depositional Environments of Bira Formation at Nahal Tavor: Macrofaunal Analysis and Strontium Isotopes. Ministry of Energy and Water Resources. Geological Survey of Israel. Rep. ES-25-2012, GSL/37/2012, 28 pp.
- Shaked-Gelband, D., Edelman-Furstenberg, Y., Mienis, H.K., Sandler, A., Zilberman, E., Stein, M., Starinsky, A., 2014. Depositional Environments of Bira Formation at Nahal Tavor from Macrofaunal Analysis. Israel Geological Society Annual Meeting, Abstracts, En Boqeq, 120 p.
- Shirav, M., Peltz, S., Baer, G., Aharon, L., Agnon, A., 1995. The Umm Sabune section revisited: Israel Geological Society Annual Meeting, Abstracts, 105 p.
- Tchernov, E., 1975. The early Pleistocene molluscs of 'Erk el-Ahmar'. The Pleistocene of the Central Jordan Valley, The Excavations at 'Ubbeidiya'. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, 36 pp.
- Tchernov, E., 1986. Les mammifères du Pléistocène inférieur de la Vallée du Jourdain à Oubeidiyeh. *Mémoire et travaux du Centre de Recherche Français de Jérusalem*. n°5. Association Paléorient, Paris, 405 pp.

סיור מספר 3:

המבנה, שלבי ההתרוממות, ודגם האקסומציה של רכס החרמון: תרמוכרונולוגיה בשיטת (U-Th)/He ותצפיות סטרוקטורליות וגיאומורפיות

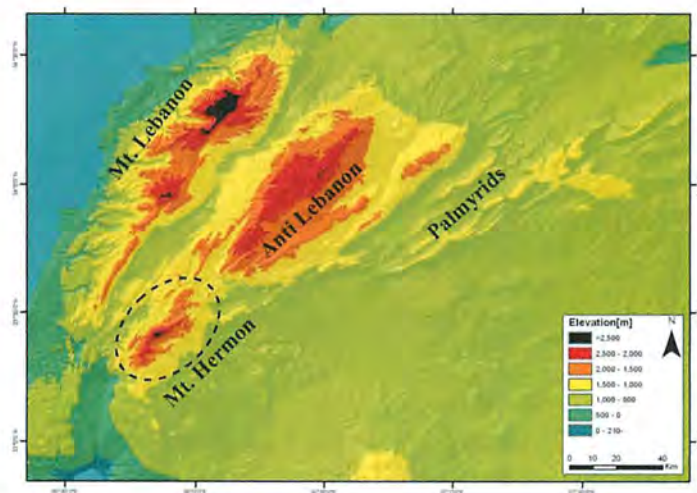
נועם יוסף חי¹, איתי חביב¹, יהודה אייל¹, רם וינברגר^{1,2}, חיים בנימיני¹

(1) המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, באר שבע

(2) המכון הגיאולוגי, ירושלים

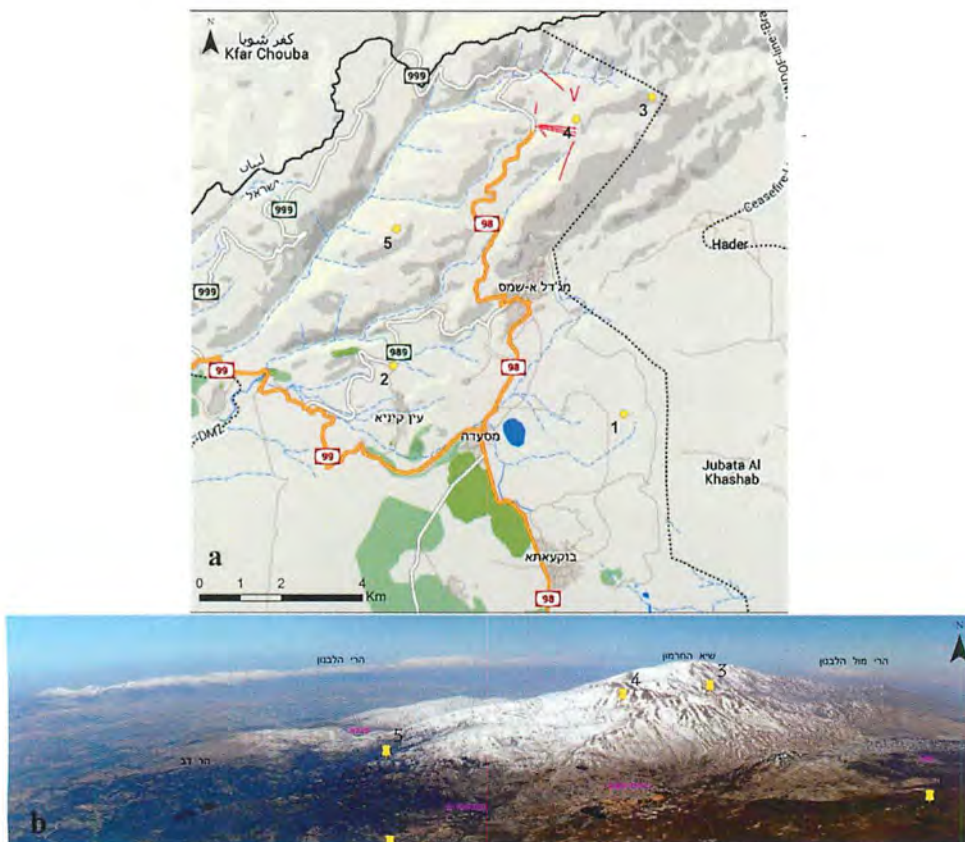
מבוא

רכס החרמון מהווה ביטוי למבנה אנטיקלינלי בולט במפגש שבין טרנספורם ים המלח ורצועת הקימוט וההעתקה של הפלמירידים, והינו אחד ממבני ההתקצרות המשמעותיים ביותר בלבאנט. אורכו כ- 50 ק"מ, רוחבו משתנה בין 10 ל- 23 ק"מ, ופסגתו הנמצאת בגובה 2,814 מ' נמוכה רק מפסגות הרי הלבנון. הרכס מהווה את הקצה הדרומי של הרי מול הלבנון והקצה הדרום-מערבי של רכסי הפלמירידים, ונתחם מדרום על ידי עמק החולה ושדה הבולות של רמת הגולן (איורים 1,2).



איור 1: מפה טופוגרפית מוצללת של הרי מול הלבנון, הרי הלבנון והפלמירידים. פסגת החרמון היא הנקודה הגבוהה ביותר בהרי מול הלבנון (2814 מטר) - גבוהה משמעותית מסביבתה ומרכסי הפלמירידים.

הסיור מתמקד באפיון ההתפתחות הטקטונית והגיאומורפית של מבנה החרמון כפי שהיא משתקפת בתרמוכרונולוגיה של טמפרטורות נמוכות בשיטת (U-Th)/He באפטיט, בשילוב ניתוח סטרקטורלי וגיאומורפי חדש. מטרת הסיור היא להכיר את מבנה החרמון ולהציע מסגרת זמנים מוחלטת להתפתחותו בהקשר לאירועים טקטוניים רגיונליים. תחנות הסיור משתרעות משולי המבנה ברמת הגולן ועד לשיא הרכס הישראלי (איור 2, נ.צ. התחנות בהמשך ברשת ישראל החדשה - ITM).



איור 2: a - מפת הסיור - תחנות הסיור מסומנות בצהוב. b - מבט פנורמי מכיוון דרום-מזרח על רכס החרמון. בקצה הימני בקו האופק המשך רכס מול הלבנון, החלק הדרומי של הרי הלבנון יוצר את קו האופק ממערב, וממזרח קצהו הצפון מערבי של שדה הבזלות של רמת הגולן. תחנות הסיור בצהוב.

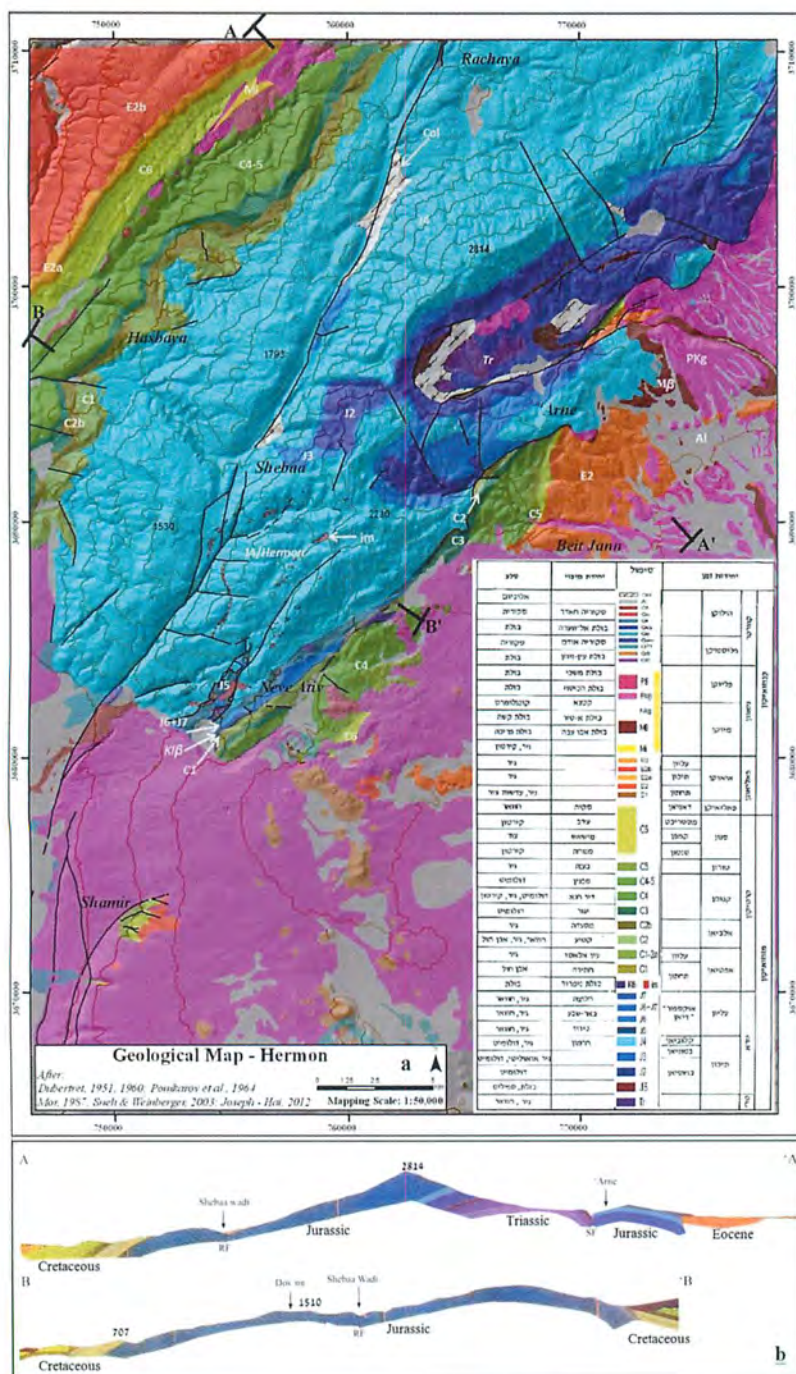
סטרטיגרפיה

באזור החרמון נחשף חתך עבה (4~ ק"מ) מגיל טריאס עליון ועד פלייסטוקן (איור 3, טבלה 1), אשר נסקר במספר עבודות קודמות (Dubertret, 1956, 1975; Razvalyaev, 1966; Saltzman, 1968; Goldberg, 1969, 1980; Michelson, 1975, 1982; Goldberg et al., 1981, 1989; Sneh et al., 1985; Kuznetsova et al., 1996; Hirsch, 1996; Mor et al., 1997; Mouty, 2000; May, 2002; Sneh & Weinberger, 2003b; Krashenninnikov, 2005).

החתך מהטריאס ועד לאאוקן העליון כולל ברובו סדימנטים ימיים ואילו החתך הצעיר יותר כולל בעיקר בזלות ומעט קונגלומרטים. שמות התצורות שיוצגו בסיור תואם למיפוי האחרון שנעשה בשטח ישראל (Sneh & Weinberger, 2003). מחוץ לתחום מיפוי זה הטרימינולוגיה מבוססת על Dubertret (1956) ו-Mouty (2000).

טבלה 1: היחידות הסטרטיגרפיות החשופות באזור החרמון ועוביין המוערך.

תקופה		חבורה	תצורה	עובי מוערך [מ']
פלאוגן	אאוקן	עבדת	עדולם, בר-כוכבא	0-200
	פלאוקן	הר הצופים	טיקיה מנוחה, מישאש, עירב	0-90
קרטיקון	עליון	יהודה	מסעדה, כמון/יגור, דיר-חנא, סכנין, בענה, עין אל אסד, הירדה/קטיע	1045
	תחתון	כורנוב	תיאסיר, חתירה, נבי סעיד	210
יורא	עליון	ערד	כידוד (J5), באר-שבע (J6), חלוצה (J7)	335-375
	תיכון		1270-1570 (J4), Bqaasem (J3), Kalat Jandal (J2), חרמון	
	תחתון		Arne	170
	עליון		Rime	200
טריאס	עליון	רמון?		



איור 3: a - מפה גיאולוגית של אזור החרמון. מיקום החתכים AA' ו BB' מסומן בשחור. המרווח בין קווי הגובה - 250 מ'. b - חתכים גיאולוגיים סכמטיים (Modified after Dubertret, 1956). RF-העתק רשאיה, SF-העתק סרג'יה.

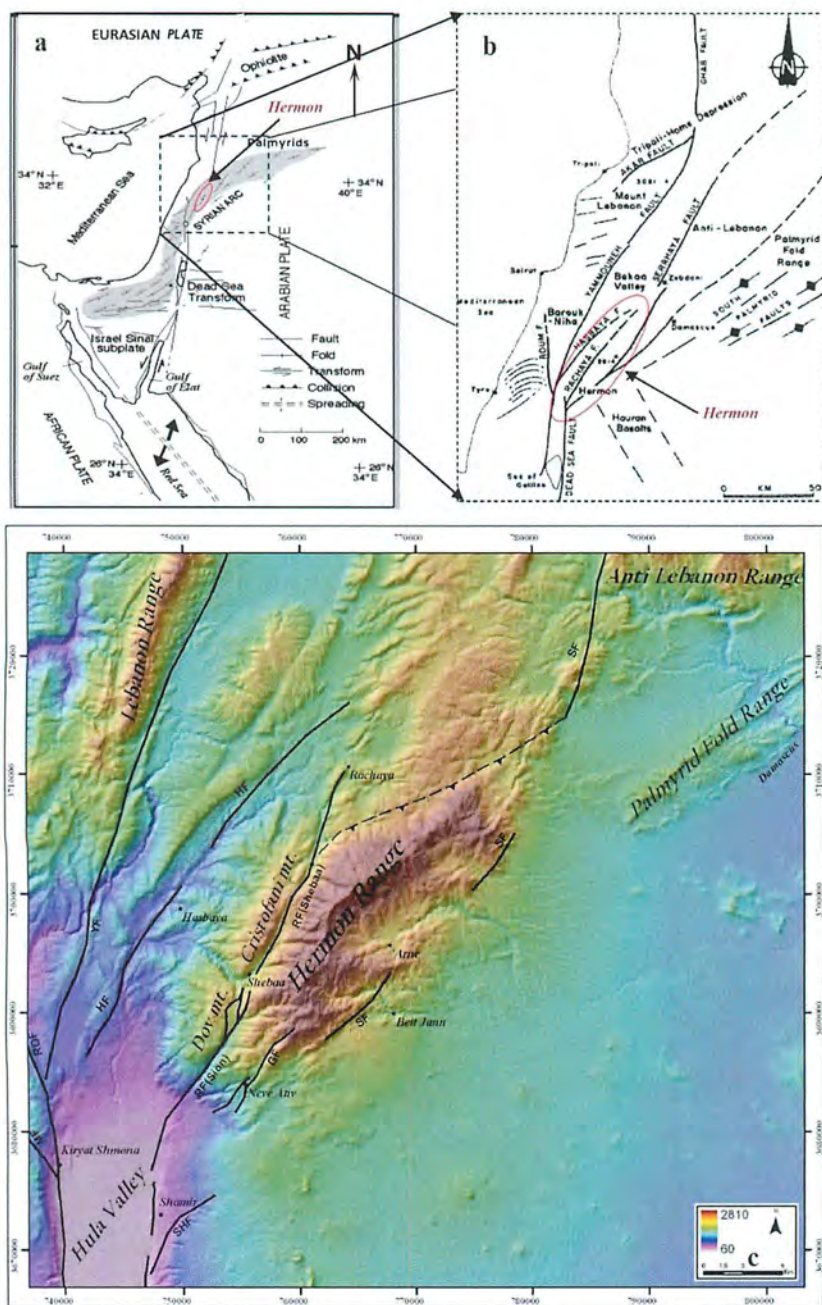
טקטוניקה ומבנה גיאולוגי

החרמון הינו מבנה אנטיקלינלי גדול שכיוון צירו 225° - 045° , הממוקם בסמיכות לגבול הלוחות שבין ערב ואפריקה (סיני), באזור המפגש של שני המחוזות הטקטוניים הבולטים ביותר באזורנו - הקשת הסורית וטרנספורם ים המלח (איור 4).

היווצרות מבנה החרמון יוחסה למשטר מאמצים לחיצתי (Transpression), בגלל Restraining bend הנובע משינוי כיוון טרנספורם ים המלח מ-N-S ל-NNE-SSW לאורך העתק הימונה (איור 4) ומתנועה השמאלית לאורכו (Freund, 1965, 1980; Freund et al., 1970). בנוסף, הוצע כי הפעילות ברצועת הקימוט וההעתקה ההפוכה של הפלמירידים, אשר החלה בסוף הקרטיקון ונמשכה במהלך הניאוגן (Chaimov et al., 1992; Salel & Se'guret, 1994; Kazmin, 2005, and references therein) תרמה אף היא להתפתחות מבנה החרמון (Shimron, 1998; Walley, 1998).

רצועת הקימוט וההעתקה ההפוכה בפלמירידים (fold-and-thrust belt), המהווה את הקטע הצפון-מזרחי של הקשת הסורית הינה רצועת התקצרות תוך-לוחית ברוחב $100 \sim$ ק"מ ובאורך $400 \sim$ ק"מ הנמשכת מרכס מול הלבנון לתוך מרכז סוריה ועד הקצה הצפוני של הפלטפורמה הערבית (איורים 1,4). הרצועה בנויה מסדרה של קמטים א-סימטריים שנוצרו בשילוב עם העתקה הפוכה בזוית נמוכה ומשטחי ניתוק (Décollement), (Chaimov et al., 1990; Searle, 1994).

ההתקצרות וההרמה של הפלמירידים החלה כנראה בקרטיקון העליון וכללה 3 שלבים עיקריים שזוהו על פי אי-התאמות בחתכים סייסמיים ובמחשופים (Chaimov et al., 1992; Brew et al., 2001). שני השלבים הראשונים, הכוללים קימוט מתון יחסית בסוף הקרטיקון וקימוט והרמה נוספת בסוף האאוקן-אוליגוקן, קדומים להתפתחות טרנספורם ים המלח וחופפים לזמן הפעילות שנמצא בקטעים הדרומיים של הקשת הסורית. השלב השלישי והעיקרי, אשר תרם להרמת והדגשת מבני הקימוט וההעתקה, החל במיוקן עם תחילת התנועה לאורך הטרנספורם. העתקה הפוכה בשיעור של $1000 \sim$ מ' שחלה במיליון השנים האחרונות בקצה הדרום מערבי של הפלמירידים תוארה על ידי Abou Romieh et al. (2012). עם זאת, זמן הפעילות הוערך באמצעות אקסטרפולציה של קצבי העתקה צעירים ואינו ודאי. כמות התנועה לאורך הטרנספורם אשר נספגה בהתקצרות הפלמירידים אינה ברורה.



איור 4: a - מפה טקטונית מוכללת. רכס החרמון מוקף בקו אדום. b - מפת ההעתקים של טרנספורם ים המלח סביב החרמון והמבנים הסמוכים (after Walley, 1988). c - אזור החרמון, המבנים הסמוכים וההעתקים העיקריים על רקע מפת תבליט: SF - סרג'יה, GF - גובתא, RF - רשאיה, SHF - שמיר, HF - חצביה, YF - ימונה, ROF - רום, MF - מרגליות.

ההערכות נעות מ- 20-30 ק"מ על סמך גיאומטריית הקמטים (Chaimov et al., 1990; Walley, 1998), ועד לכ- 50% מסך התנועה בטרנספורם על סמך מודלים קינמטיים (Abou Romieh et al., 2012). (Salel & Se'guret (1994). טענו מנגד, על בסיס יחסים סטריגרפיים, חתכים סייסמים ואנליזת כובד (Gravity), כי עיקר ההתקצרות (75%) בפלמירידים התרחשה כבר במהלך הפליאוגן וספגה רק כחמישה ק"מ מהתנועה האופקית לאורך הטרנספורם.

טרנספורם ים המלח הוא גבול לוחות פעיל באורך ~1000 ק"מ המחבר את אזור הפתיחה שבמרכז הים האדום עם אזור התכנסות הלוחות בטאורוס-זגרוס שבדרום טורקיה ואיראן (איור 4). הטרנספורם מפריד בין הלוח הערבי שבמזרח ללוח האפריקאי (תת-הלוח של סיני) שבמערב, עם הסטה שמאלית כוללת של כ-105 ק"מ בחלקו הדרומי (Quennell, 1959; Freund et al., 1970; Garfunkel et al., 1981).

עדויות סטריגרפיות, סטרוקטורליות וגיאוכרונולוגיות מראות כי ההסטה האופקית השמאלית (Sinistral) לאורך הטרנספורם החלה במיוקן התיכון, וכללה שני שלבים עיקריים של פעילות - האחד במיוקן והשני מהפליוקן עד להווה (e.g., Quennell, 1958; Freund et al., 1970; Eyal et al., 1981; Garfunkel, 1981; Joffe & Garfunkel, 1987; Sneh & Weinberger, 2003a). שינוי הדרגתי קטן באופי תנועת הלוחות, המשתקף בנדידת קוטב אויילר, התחיל כנראה בפליוקן והמשיך בפלייסטוקן. שינוי זה הוביל לפתיחה ומתיחה בין הלוחות בחלקו הדרומי של הטרנספורם ממפרץ אילת ועד לאגן ים המלח (Garfunkel, 1981; Joffe & Garfunkel, 1987; Ben-Avraham et al., 2008). ולהתכנסות ולחיצה בחלק הצפוני, מעמק החולה ועד טורקיה (Gomez et al., 2007; Seyrek et al., 2007; Weinberger et al., 2009; Garfunkel, 2014). קצב התנועה לאורך הטרנספורם חושב על פי סמנים גיאולוגיים וגיאומורפולוגיים, מודלים טקטוניים ומדידות GPS ומוערך ב- 3-10 מ"מ בשנה (Weinberger et al., 2009, and references therein).

המשכו של טרנספורם ים המלח מעמק החולה צפונה מורכב מאוד וכולל התפצלות של ההעתק הראשי למספר העתקים (איור 4) (Heimann, 1990; Baer et al., 2009; Weinberger et al., 2009).

הכפיפה ימינה (לכיוון NNE) של העתקי הימונה, חצביה, רשאיה וסרג'יה יוצרת גיאומטריה של Restraining bend, שאורכו 140-180 ק"מ ורוחבו כ- 80 ק"מ. אזור

זה כולל שני רכסי הרים בולטים : הרי הלבנון והרי מול הלבנון המופרדים על ידי עמק הבקעא (Walley, 1988; Gomez et al., 2007) (איורים 2,4).

לא ברור עדיין איזה חלק מכלל ההסטה לאורך חלקו הדרומי של הטרנספורם מועבר להעתק הימונה ולהעתקים האחרים, מהי החלוקה ביניהם, וכמה מהתנועה נספגת במבני ההתקצרות של הפלמירידים, הרי הלבנון ומול הלבנון והחרמון (Walley, 1998; Garfunkel, 2014). תנועה אופקית חלוקנית, תוארה לאורך העתקי הימונה, סרגייה, רשאיה ורום (e.g., Daëron, 2005; Gomez et al., 2007). כמות התנועה שנספגה בהרי הלבנון מוערכת בכ- 20-40 ק"מ, ושיעור ההתקצרות בניצב לגבול הלוחות בכ- 15-40% (e.g., Freund & Tarling, 1979; Daëron, 2005;) (Gomez et al., 2007; Baer et al., 2009; Henry et al., 2010).

זמן הקימוט וההרמה בחרמון. הערכת זמן ההרמה של הרי הלבנון ומול הלבנון קשה ומאתגרת בשל מיעוט עדויות סטריגרפיות ומעוות צעיר משמעותי הממסך עדויות למעוות קדום יותר. בעבר הוצע, ללא ביסוס מספק, כי העיצוב העיקרי של מערכת הרי הלבנון, הבקעא והרי מול הלבנון התרחש כחלק מיצירת קמטי הקשת הסורית בשני שלבים עיקריים שקדמו לתחילת התנועה על הטרנספורם, עם תרומה קטנה נוספת סינ-טרנספורמית כתוצאה מהתקצרות בפליקן ואילך (Walley, 1998; Beydoun, 1999). לעומת זאת טענו אחרים על בסיס כיוון המעוות המשוחזר באמצעות מזו-סטרוקטורות ועדויות גיאומורפולוגיות כי עיקר הקימוט וההרמה התחיל רק במיקון המאוחר כתוצאה מלחיצה לאורך ה- Restraining bend של טרנספורם ים המלח (Daëron, 2005; Gomez et al., 2006; Homberg et al., 2010).

עדויות לאי-התאמות בשוליים הדרום מזרחיים של החרמון ומשמעותן יתוארו בסיוור בתחנה מס' 1. Freund (1980) הציע כי העתקי סרגייה ורשאיה הם שני קטעים של העתק אחד שביניהם חלה הסטה ימנית, שהובילה לדחיסה והתרוממות גדולה במיוחד של מבנה החרמון. Daëron (2005) הציע כי לאורך הקטע המחרב חלה העתקה הפוכה (איור 4), אך לא הציג עדויות לקיומה.

בדומה להרי הלבנון ומול הלבנון, מחקרים קודמים (e.g., Freund & Tarling, 1979; Ron, 1987; Ron et al., 1990) אודות החרמון תארו תופעות סטרוקטורליות הקשורות למעוות הפנימי (כגון רוטציה, העתקה והתפתחות מבני התקצרות ומתיחה), ללא עדויות ישירות לזמן הקימוט וההרמה.

בסיוור יוצג מחקר תרמוכרונולוגי חדש הכולל עדויות ישירות למסגרת הזמנים בה התפתח מבנה החרמון.

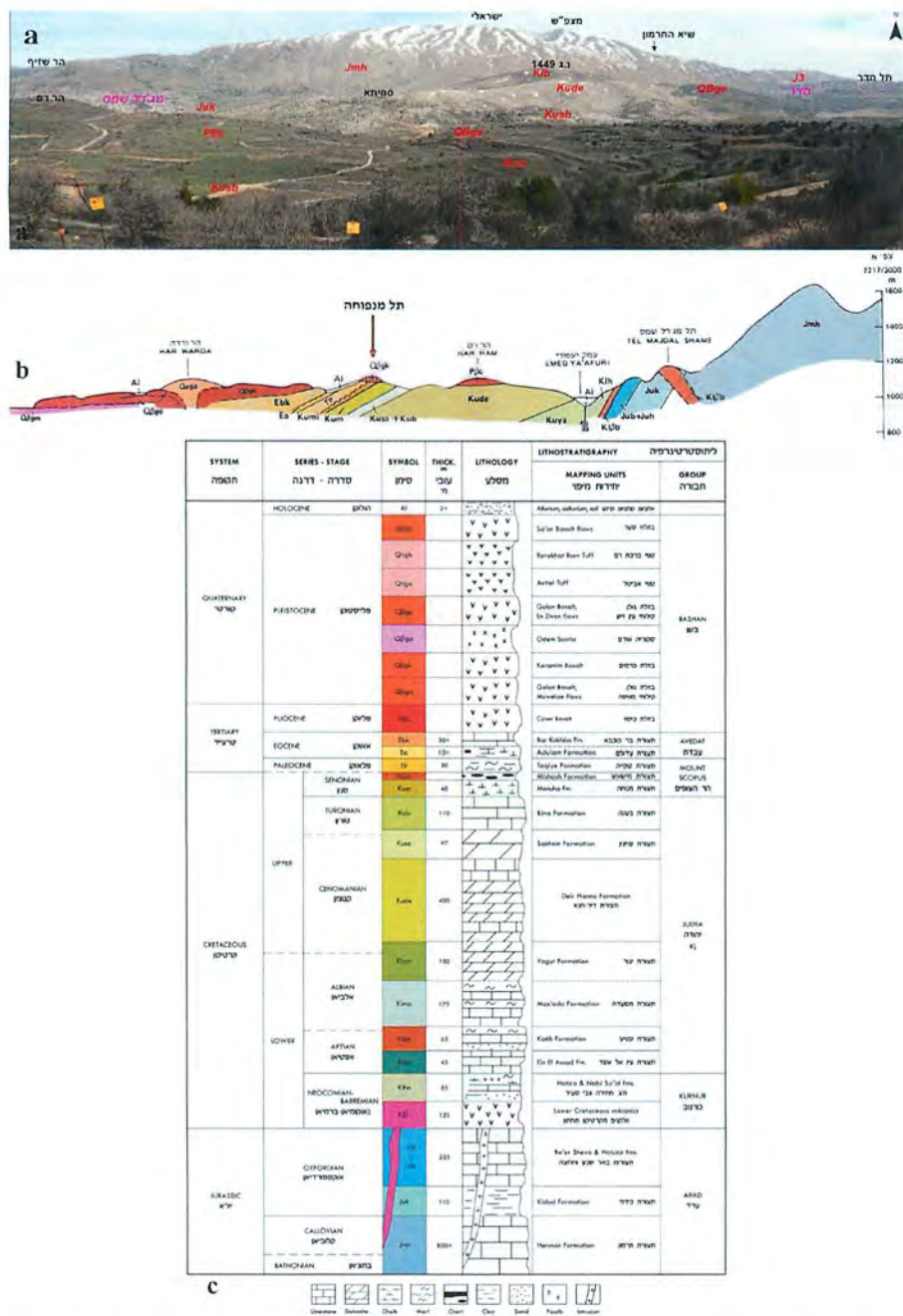
תחנה מס' 1: תל מנפוחה (274915/793769, 1213 מ')

תצפית על האגף הדרום-מזרחי של החרמון; החתך הסטרטיגרפי; עדויות השדה להתפתחות המבנה.

החתך הסטרטיגרפי באגף הדרום-מזרחי של מבנה החרמון

בתצפית לכיוון צפון מראש תל מנפוחה (איור 5) ניתן לראות את האגף הדרום מזרחי של אנטיקלינת החרמון הנוחת בנטיה של $30-40^\circ$ מתחת לבזלות רמת הגולן. היחידה העיקרית המרכיבה את המבנה היא *תצורת חרמון (J4)* היוראסית עליה נרחיב בתחנה 3. מעליה מונחת *תצורת כידוד (J5)* הבנויה מחילופין של פצלים חרסיתיים וגיר ועובייה כ- 110-150 מ'. מעליה מונחת בהתאמה *תצורת באר שבע (J6)* שעובייה כ- 100 מ'. התצורה כוללת גיר ספיקוליטי בחילופין עם אופקי פצלים בחלקה התחתון וגיר ביומיקריטי ואינטרה-ביוספריטי עשיר במאובנים ומשוכב היטב בחלקה העליון. גג החתך היוראסי בחרמון מורכב מ*תצורת חלוצה (J7)* הכוללת גיר ביוספריטי ואואוליטי בעובי כ- 125 מ' (Sneh & Weinberger, 2003b). עובי כלל החתך היוראסי הנחשף בחרמון הינו 2000~ מ'.

בהמשך החתך, באגף הדרום-מזרחי של החרמון, נחשפים סלעים מגיל קרטיקון תחתון עד אאוקן שעוביים הכולל כ- 1300 מ'. החלק התחתון כולל יחידות וולקניות בעובי של כ- 125 מ', הקורלטיביות כנראה לוולקני תיאסיר (Shimron & Peltz, 1993; Segev, 2009), וחסרות בשיפוליו המערביים של המבנה (Dubertret, 1951; Renouard, 1955). מעל הוולקנים מונחת *תצורת חתירה* הבנויה מכ- 85 מ' אבני חול. מעל תצורת חתירה, בין הכפרים עין - קניה למסעדה, נחשף חלקה התחתון של *חבורת יהודה* הכולל חתך עם חילופים של יחידות גיריות, דולומיטיות וחוליות מגיל קרטיקון תחתון ובעובי מצטבר של כ- 450 מ'. באזור בקעת יעפורי ותל מנפוחה, נחשפים סלעים מגיל קרטיקון עליון ועד אאוקן בעובי של כ- 750-800 מ'. חתך זה כולל את חלקה העליון של *חבורת יהודה*, הבנוי בעיקר גיר ודולומיט, *חבורת הר הצופים*, הבנויה קירטון, צור וחוארים, ו*חבורת עבדת* הבנויה מגירים וקירטונים (איור 5).



אור 5: a - השוליים הדרום-מזרחיים של מבנה החרמון. מבט צפונה מתל מנפוחה. היחידות הסטריטוגרפיות מסומנות באדום. ראה מקרא בתת אור c (Kusb - תצורות סחנין ובענה). b - חתך סכמאטי בכיוון צפון-מערב דרום-מזרח בשוליים הדרום מזרחיים של מבנה החרמון (Mor, 1987). c - חתך עמודי של היחידות הנחשפות בשוליים הדרום מזרחיים בחרמון (Mor, 1987).

עדויות בשדה ובתת-הקרקע להרמה וקימוט

תצפיות השדה היכולות להעיד על זמן הקימוט והדפורמציה במבנה החרמון מעטות. יחידות סטרטיגרפיות צעירות (סינטקטוניות?) שהיו ממקמות בחלקים הגבוהים של המבנה הוסרו באירוזה ואילו בשולי המבנה יחידות אלה לרוב מכוסות בבזלות צעירות. למרות המגבלות, מספר תצפיות מפתח בשוליו הדרום מזרחיים של החרמון עשויות להעיד על התפתחות המבנה (איור 3):

1. בנחל עורבים, חלונות שמיר ותל מנפוחה שברמת הגולן (Mimran et al., 1985), וכן צפונה יותר באזור בית ג'אן בסוריה (Michelson, 1975, 1982), ניתן לזהות אי-התאמות ושינויי עובי ופצאס בסלעי *חבורת הר הצופים*. החתך החווארי של היחידות מגיל מאסטרית-פליאוקן (*תצורות ערב* וחלקה התחתון של *ט'קיה*) שעוביו כ- 10 מ' בנחל עורבים וחלונות שמיר מתאפס בצפון-מזרח באזור תל מנפוחה ובית ג'אן עם ההתקרבות לשיא המבנה. באזור בית ג'אן נראה כי ישנה גם אי-התאמה זוויתית בין האאוקן לסנון, אולם יתכן כי המגע משקף שבירה צעירה מורכבת (הרחבה בתחנה 3).

2. בתל ורדה כ- 3 ק"מ מדרום לתל מנפוחה נחדרו בקידוח כ- 100 מ' של חוואר מגיל פליאוקן עליון-אאוקן תחתון (*תצורת ט'קיה*). הקידוח לא הגיע לבסיס היחידה. נראה כי ההתעבות הניכרת בעובי התצורה על פני מרחק כה קצר (מ- 20 מ' ליותר מ- 100 מ') מצביעה על השקעת היחידה באגן סינקלינלי ולכן מעידה בצורה עקיפה על קיום מבני קימוט כבר בתקופה זו.

3. היחידות האאוקניות ברמת הגולן מתאפיינות בשינוי פצאס. בצפון רמת הגולן החתך האאוקני הוא גירי ואילו בדרום רמת הגולן החתך קירטוני-חווארי.

4. בזלות שמופו כשפכים מיוקניים (Dubertret, 1956), אך ככל הנראה לא תוארכו עד כה, נמצאות במגע עם *תצורת חרמון* היוראסית בשוליים המזרחיים של המבנה (ליד הכפר עין אל שער). בזלות אלו מעידות על חשיפת החתך היוראסי כבר בתקופה זו ולכן גם על הרמה משמעותית ואירוזה שצעירה מגיל הבזלת.

5. קונגלומרט שמופה כניאוגני (Dubertret, 1956), אך לא תוארך, נמצא נטוי על סלעי הטריאס במכתש ערנה. הקונגלומרט מצביע על קיום מכתש בשיא המבנה כבר בתקופה זו ויתכן כי נטייתו מצביעה על ארוע הרמה צעיר נוסף.

6. בזלת הכיסוי הבונה את הר רם (Mor, 1987) מונחת על חבורת יהודה ומצביעה על חשיפה עמוקה של שולי המבנה כבר בראשית הפליוקן (לפני כ 3.5 מליון שנה).

7. אי-התאמות שמשתקפות בסדימנטים מגיל אוליגוקן-מיוקן במבני הקימוט של הפלמירידים משקפות ככל הנראה קימוט מגיל סנון-פליאוקן, וכן ארועים צעירים מגיל אוליגוקן ואילך (Chaimov et al., 1992; Brew et al., 2001; Kazmin, 2005).

8. שחזור הסטה אופקית של 90-100 ק"מ לאורך טרנספורם ים המלח מעמיד את מבנה החרמון אל מול אנטיקלינת פריעה (אזור ואדי מליח) מצידו המערבי של הטרנספורם, שבה נמצאו עדויות ברורות לאי-התאמה ביחידות מגיל סנון ואילך (Mimran, 1984).

9. הכיסוי הסייסמי בשוליים הדרום מזרחיים של החרמון מוגבל הן מבחינת הכמות והן מבחינת איכות החתכים הסייסמים בשולי הרכס (Meiler, 2011; Dafni et al., 2003). בפענוח החתכים זוהו שינויי עובי וכן העתקים הפוכים ואנטיקלינה קבורה באזור מרום גולן. עם זאת, האופקים המזוהים בחתכים הסייסמיים אינם מאפשרים הפרדה ברורה בין יחידות מגיל קרטיקון עליון ועד הבזלות הצעירות. בנוסף העתקים שפוענחו בחתכים מסיטים גם בזלות צעירות. על בסיס החתכים לא ניתן לקבוע האם המקור לשינויי העובי, להעתקה ולמבני הקימוט הוא קימוט והרמה שהחלו בקרטיקון העליון או תנועות צעירות יותר.

בהסתמך על כלל התצפיות שתוארו נראה כי הפעילות הטקטונית והקימוט באזור החרמון החלו כבר בסוף הקרטיקון. עם זאת, המחשופים המוגבלים (כפי שיוצג בתחנה זו) ואיכות הנתונים מתת-הקרקע אינם מאפשרים להגדיר מסגרת זמנים חד-משמעית ולהפריד בין שלבי ההתפתחות השונים של המבנה. בהמשך הסיוור נציג נתונים חדשים המבוססים על תרמוכרונולוגיה של טמפרטורות נמוכות המאפשרים לשפוך אור חדש על שלבי התפתחות המבנה.

מראש תל מנפוחה נרד לשולי התל להתרשמות מהחשיפה המוגבלת של היחידות בשטח. משם נמשיך בנסיעה דרך צומת מסעדה ועין קיניה לתחנה 2 הממוקמת בצומת נבי חזורי. במהלך הנסיעה נצפה במספר מחשופים מגמתיים מהקרטיקון התחתון עליהם נרחיב בתחנה 2.

תחנה מס' 2: נבי חזורי (268415/796050, 810 מ')

בתחנה זו נסקור את עקרונות שיטת (U-Th)/He באפטיט ואת אופן יישומה במרחב החרמון, נציג סלעים מגמתיים מייצגים מהם נלקחו דוגמאות לתארוך ונעמוד על משמעות גילי הקירור משולי המבנה.

תרמוכרונולוגיה בשיטת (U-Th)/He באפטיט

היסטוריה תרמאלית של סלע אוצרת בתוכה מידע כמותי אודות ארועים טקטוניים, תרמאלים ואירוזיביים. מערכת (U-Th)/He באפטיט מתאפיינת בטמפרטורת הסגירה (T_c) הנמוכה ביותר ($\sim 50-70^\circ\text{C}$) מבין כלל המערכות התרמוכרונומטריות הידועות כיום ולכן היא רגישה יותר לאקסומציה ("הוצאה מקבורה" על ידי אירוזיה ארוכת טווח או שבירה נורמלית) המוגבלת לקילומטרים בודדים.

גילי (U-Th)/He באפטיט מתעדים את השלבים האחרונים של קירור הסלע בחלקים העליונים ביותר של הקרום (3-1 ק"מ) ומאפשרים לאפיין ולבחון תהליכים טקטוניים, סטרוקטורלים וגיאומורפולוגיים גם בסלעים אשר לא עברו קבורה עמוקה - כדוגמת הסלעים בחרמון.

השיטה מבוססת על דעיכה רדיואקטיבית של אורניום (U), תוריום (Th) וסמריום (Sm) המלווה ביצירה של חלקיקי α (Farley, 2002):

$$^4\text{He} = 8^{238}\text{U}\lambda_{238}t + 7^{235}\text{U}\lambda_{235}t + 6^{232}\text{Th}\lambda_{232}t + 0.1499^{147}\text{Sm}\lambda_{147}t \quad (1)$$

בתסריט הפשוט ביותר של קירור בקצב קבוע או קירור מהיר, מדידת איזוטופי האב ואיזוטופ הבת מגדירים את הזמן שעבר מאז "סגירת המערכת" (Dobson, 1973). המונח טמפרטורת סגירה נוח לצורך השוואת מערכות תרמוכרונומטריות שונות אך בפועל איננו משמש לצורך מידול היסטוריית הקירור של הסלעים. הגיל המתקבל מתורגם להיסטוריית קירור (מסלול T-t) בעזרת מודל נומרי המחשב את אובדן ההליום משריג האפטיט כתוצאה מדיפוזיה תלוית טמפרטורה וטמפרטורה המשתנה בזמן בהתאם למסלול הקירור הנבחן. תלות מקדם הדיפוזיה בטמפרטורה ידועה היטב מניסויי מעבדה (Farley, 2000).

יצירה של חלקיקי α מתרחשת בגביש בקצב קבוע אולם בטמפרטורה גבוהה מספיק קצב הדיפוזיה של החלקיקים אל מחוץ לגביש גדול יותר מקצב היצירה ולכן לא נצבר הליום. באזור השימור החלקי של הליום במערכת (Partial Retention Zone - PRZ;) קצב הדיפוזיה של הליום נמוך מקצב היצירה והליום נצבר בגביש באופן חלקי בלבד. בטמפרטורה נמוכה יותר קצב הדיפוזיה זניח ביחס לקצב היצירה וכל ההליום שנוצר נצבר בגביש.

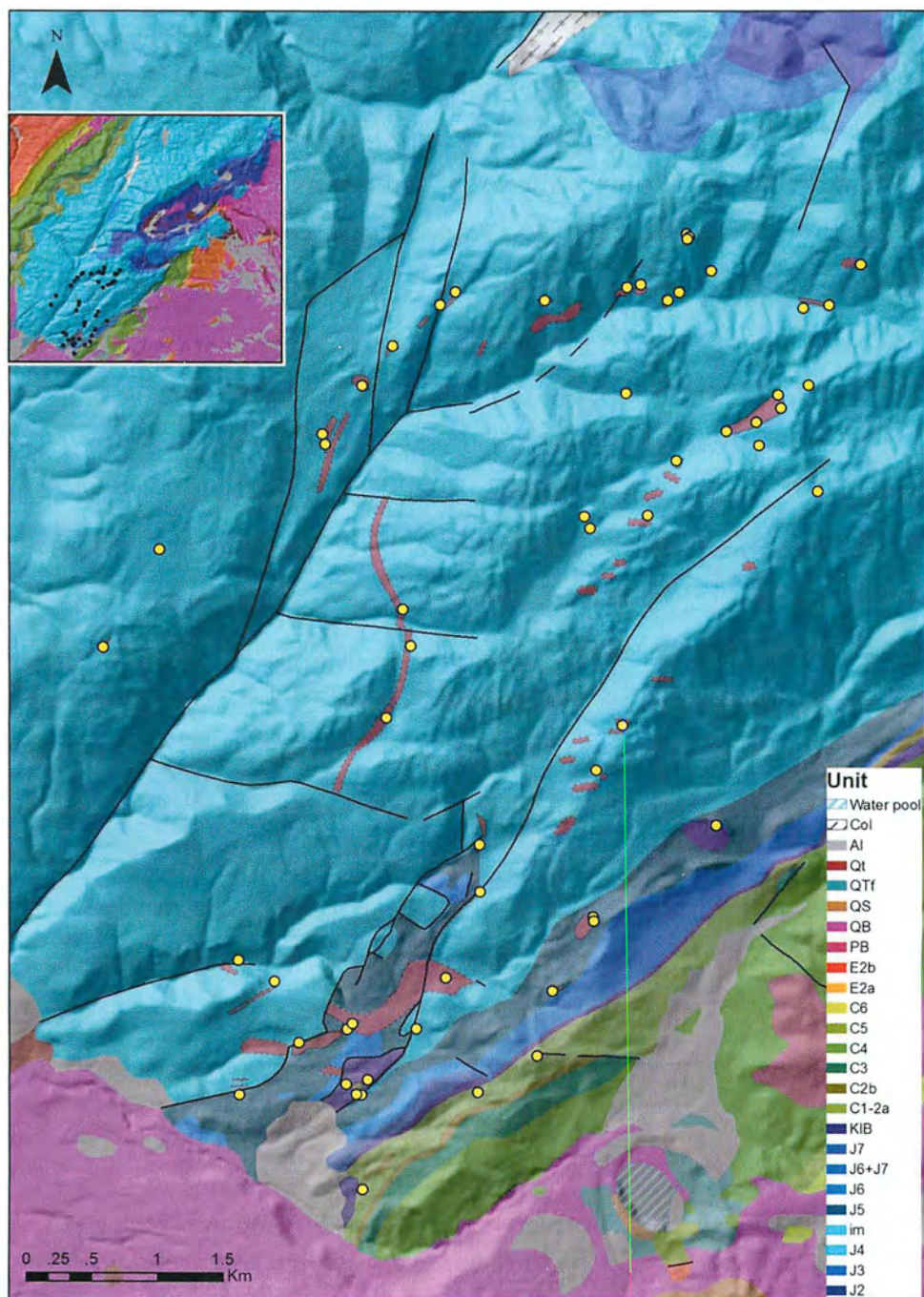
גיל הקירור של גביש סצפציפי הוא פונקציה של היסטוריית הקירור אך גם של גודל מרחב הדיפוזיה (רדיוס הגביש) וריכוז האורניום האפקטיבי (eU) היכול להשפיע על מידת הנזק שנצבר בשריג הגביש (Flowers et al., 2009). ההשפעה של שני הפרמטרים האלו היא ברמת מדידה ומאפשרת לצמצם את מרחב מסלולי הקירור האפשריים ולשפר את אפיון ההיסטוריה התרמאלית.

תרמוכרונולוגיה בשיטת (U-Th)/He בחרמון

תוכנית הדיגום המועדפת באזורים בהם קיימת חשיפה טובה של סלעים המכילים אפטיט (מחוזות מגמתיים/מטמורפיים), מורכבת מחתכים בניצב לציר המבנה/רכס, חתכים תת-אנכיים על פני הפרש גבהים גדול ודוגמאות מבלוקים סטרקטורליים שונים (e.g., Quimet et al., 2010).

ברכס החרמון הסלעים היחידים המכילים גבישי אפטיט מתאימים הם מחדרים בהרכב גברואידי ובולתי מגיל קרטיקון תחתון (120-140 מ"ש; Wilson et al., 2000; Segev, 2009), החוצים את החתך הקרבונטי של סלעי היורא. אסטרטגית הדיגום בחרמון מוכתבת לכן על ידי תפרוסת מחשופי המחדרים במרחב כך שלמעשה כל מחשוף מתאים נדגם (איור 6). עובי הכיסוי המינימאלי שראו רוב המחדרים שנדגמו כולל את החתך הסדימנטרי שבין גג היורא לגג תצורת בענה מגיל טורון ועומד על כ- 1350 מ' עבור דוגמאות רדודות (ראה טבלה 1 בפרק המבוא) ו- 2700 מ' לפחות עבור דוגמאות מחלקה התחתון של תצורת חרמון (דיון בחשיבותו של עובי הכיסוי יערך בתחנה 4). המעבר מקצבי אקסומציה לקצבי הרמה אינו ישיר ופרק הזמן המפריד בין התרוממות המבנה לאירוזיה תלוי במספר גורמים: גודל הבלוק הסטרקטורלי, תנאי האקלים וחוזק הסלע.

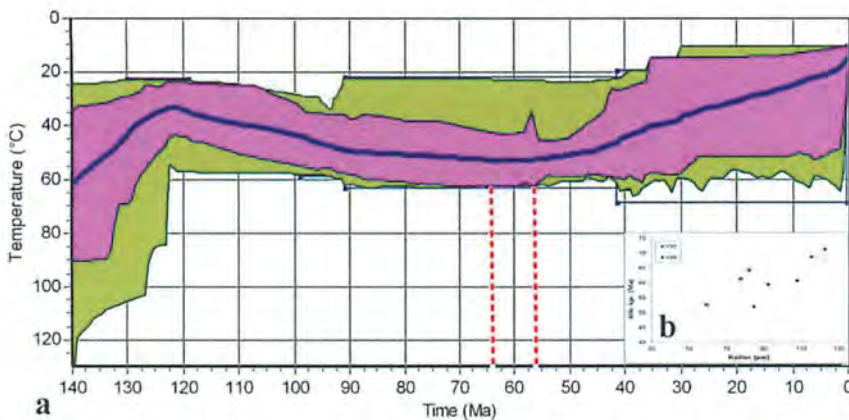
הגיל הממוצע של דוגמאות משולי המבנה המוצגות בתחנה זו הוא 60-65 מ"ש, בניגוד לגילים צעירים בהרבה של 20-30 מ"ש הקרובים לציר המבנה שיוצגו בתחנה 4.



איור 6: מיקום מחשופי הסלע אשר נדגמו לאנליזת (U-Th)/He באפטיט בחרמון.

גיל קירור בשיטת עקבות ביקוע באפטיט (AFT) ממרחב נבי חזורי עומד על 148 ± 7 מ"ש (דוגמא V30, איור 16). גיל זה זהה לגיל הצבת המחדר שנקבע בעזרת Ar-Ar, ועומד על 142.3 ± 1.5 מ"ש (Segev, 2009). מכאן שכלל ההיסטוריה התרמאלית של סלעים מאזור זה מאז הצבת המחדר הייתה מוגבלת לטמפרטורות נמוכות מכ- 60 מעלות. טמפרטורות גבוהות יותר היו גורמות לריפוי של חלק מעקבות הביקוע ומובילות לגיל AFT נמוך מגיל המחדר. בנוסף גילי הקירור באזור נבי חזורי מושפעים מגודל הגביש (איור 7), תצפית המשקפת קירור איטי יחסית.

מסלולי זמן-טמפרטורה אפשריים (איור 7), שמתקבלים מאינברסיה של גילי הקירור בעזרת מודלים תרמאלים, מעידים גם הם כי הטמפרטורה המירבית בה שהו הדוגמאות היא ~ 60 מעלות. צבירת החתך (חימום) הסתיימה בסוף הסנון והדוגמאות התקררו בקצב איטי (כ- 10 מעלות בחלון הזמן שבין 40-60 מ"ש המשקף אקסומציה מתונה של 15-20 מ"מ/מ"ש). בתקופה הצעירה מ-40 $\sim$ מ"ש אלומת הפתרונות רחבה, כתוצאה מאי רגישות של המערכת בעומקים הרדודים, ולא ניתן לקבוע את קצב ודגם האקסומציה. בהמשך הסיור (תחנה 4) נראה כיצד דוגמאות הסמוכות לציר המבנה עוזרות בקביעת דגם האקסומציה בתקופה זו.



איור 7: a - פתרון אינברסיה של גילי (U-Th)/He למסלולי זמן-טמפרטורה אפשריים בעזרת מודל תרמאלי נומרי, עבור שתי דוגמאות מהשוליים הדרום מזרחיים של המבנה (V30, V29). הפתרון מתחשב גם בגילי עקבות ביקוע באפטיט שנקבעו במסגרת עבודה זו (Fission Tracks) עבור דוגמא V30. הקופסאות הכחולות מגדירות מרחב t-T בו המסלולים חייבים לעבור בהתאם לאילוצים גיאולוגיים. בורוד מצויינים מסלולים בעלי התאמה טובה ובירוק מסלולים בעלי התאמה אפשרית. הקו הכחול הינו ממוצע משוקלל של כלל המסלולים. הקוים המקווקוים האדומים תוחמים את הזמן בו מתחיל הקירור. b - השפעת גודל הגביש על גיל הקירור בדוגמאות אלה.

מנבי חזורי נמשיך בנסיעה לתחנה 3 ב"מצפה שלגים" בשיא רכס החרמון הישראלי. במהלך הנסיעה נתרשם מאחידות ההופעה בנוף של תצורת חרמון, מנטיית השכבות שמשנה כיוון באזור ציר המבנה, ומהמצאות מחדרים מגמתיים נוספים. בתחנה 3 נערוך שתי תצפיות כשביניהן הליכה קצרה.

תחנה מס' 3א': מצפה שלגים (275685/802585, 2200 מ')

תצפית על שיא רכס החרמון וואדי בית ג'אן; החתך הסטרטיגרפי העמוק; איפיון מבנה החרמון.

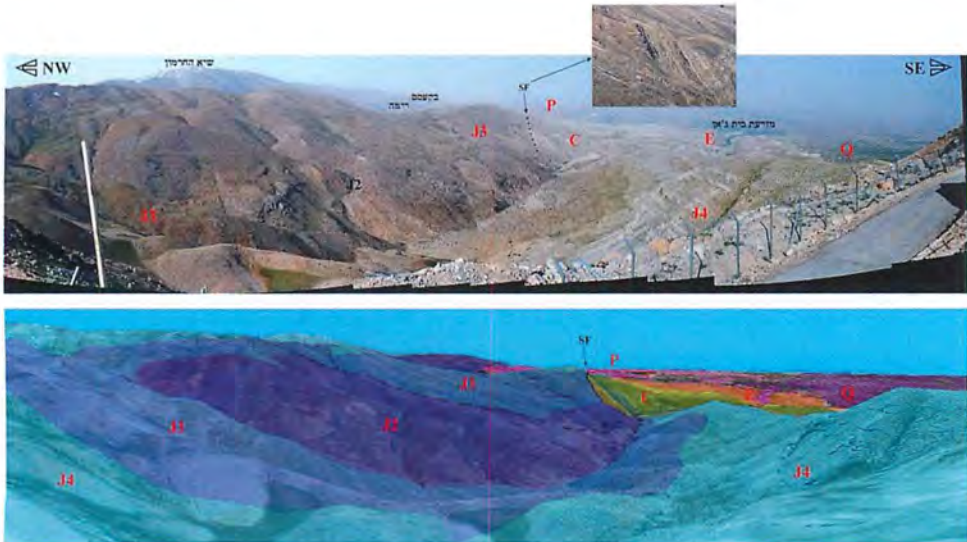
בסיס החתך הסטרטיגרפי החשוף במבנה החרמון

בתצפית לכיוון צפון ניתן להבחין בשיא רכס החרמון ובמורדותיו המזרחיים של המבנה. במזרח וואדי בית ג'אן הנמשך עד לשוליים הדרום מזרחיים של הרכס וקו המגע שבין החרמון לאזור הלגיה והחורן (איור 8). שיא הרכס בנוי מהיחידה הגירית של תצורת חרמון ואילו במורדות הרכס ולאורך אפיק ואדי בית ג'אן נחשפת תצורת *Kalat Jandal* (המקבילה ברובה ליחידה J2 של Dubertret) הכוללת כ- 400 מ' של גיר מיקריטי ביוקלסטי ודולומיט כהה ומסיבי בחילופין עם חוואר, ומעליה תצורת *(J3) Bqaasem*, הבנויה חילופין של גיר אואוליטי וקלקארניטי צהבהב ומעט חוואר ועובייה כ- 170 מ'. היחידות קורלטיביות בקירוב לגיל תצורות מחמל/דיה ושריף מדרום הארץ (Middle Jurassic).

היחידות העתיקות ביותר בחרמון (ולמעשה גם בכלל הרי מול הלבנון והר הלבנון) נחשפות רק במכתש ערנה ואינן ניתנות לזיהוי מנקודת התצפית (איור 3). באזור זה נחשפים סלעים טריאסיים (Norian-Rhaetian) מתצורת *Rime* (Kuznetsova et al., 1996, Mouty, 2000) הבנויים מכ- 200 מ' של חילופי גיר ודולומיט, ומעליהם תצורת Arne, הכוללת יחידה וולקנית בעובי 50 מ', הקורלטיבית לוולקני אשר (Gvirtzman & Steinitz, 1983), וכ- 120 מ' חילופין של דולומיט אפור כהה, חווארים צהבהבים דקי שיכוב, חרסיות וגיר, הקורלטיביים בקירוב לגיל תצורות ארדון ואגמר (חלק תחתון) מדרום הארץ. תצורה זו מהווה את בסיס החתך היוראסי בחרמון (Pliensbachian-Toarcian).

בתצפית לכיוון מזרח ניתן לזהות באזור הכפיפה של ואדי בית ג'אן (אתר המעינות) מגע חד בין יחידות יוראסיות ליחידות תת-אנכיות מהקרטיקון (איור 8). מגע זה הינו

ביטוי להעתקה לאורך חלקו הדרומי של העתק סרג'יה. בהמשך מזרחה, באזור הכפר מזרעת בית ג'אן, ניתן לראות חתך מבסיס הקרטיקון ועד האאוקן שעליו מונח קונגלומרט קטנא (Dubertret, 1956; Michelson, 1975) שגילו הוערך כפליוקן.



איור 8: a - תמונה פנורמית ממצפה שלגים לכיוון צפון ומזרח, היחידות הסטרטיגרפיות מסומנות באדום. העתק סרג'יה מסומן בקו שחור מקווקו (ראה הגדלה). b - היחידות הסטרטיגרפיות מסומנות על גבי התמונה הפנורמית.

ניתוח ושיחזור סטרוקטורלי של מבנה החרמון

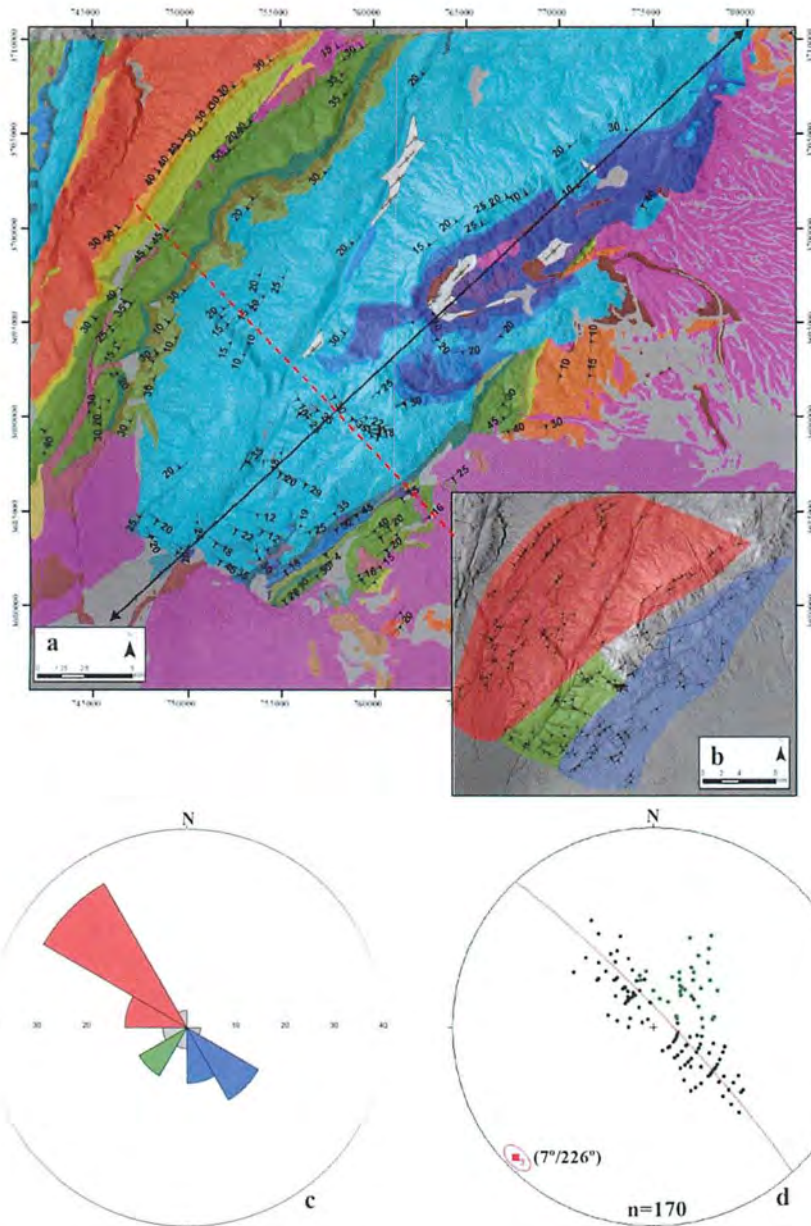
האחידות הסטרטיגרפית של תצורת חרמון (עליה נרחיב בתחנה ב'3) מקשה על איפיון מדויק של מבנה הקמט הנחוץ בכדי להעריך את מידת ההרמה ומנגנון ההרמה. בנוסף, גילי קירור במבנה קימוט צפויים להשתנות במרחב כתלות ביחס לציר המבנה ועובי הכיסוי הסדימנטרי שראו הדוגמאות (יוצג בתחנה 4). על כן שיחזור המבנה במדויק הוא בעל חשיבות גדולה ובוצע במספר שיטות.

שילוב מפה מרחבית המכילה אינטגרציה של כ- 220 מדידות דיפ (כמחציתן חדשות) עם דיאגרמת כיווני נטיות (Rose diagram), מאפשר לזהות שלושה מרחבים סטרוקטוראליים המאופיינים בכיווני נטיות שונים (איור 9). כיוון הדיפ הממוצע: באגף הדרום-מזרחי של הקמר (כ-20% מהמדידות) הוא 135° , באגף הצפון-מערבי (כ-35% מהמדידות) 315° , ואילו בחלק הדרומי של הרכס (כ-10% מהמדידות)

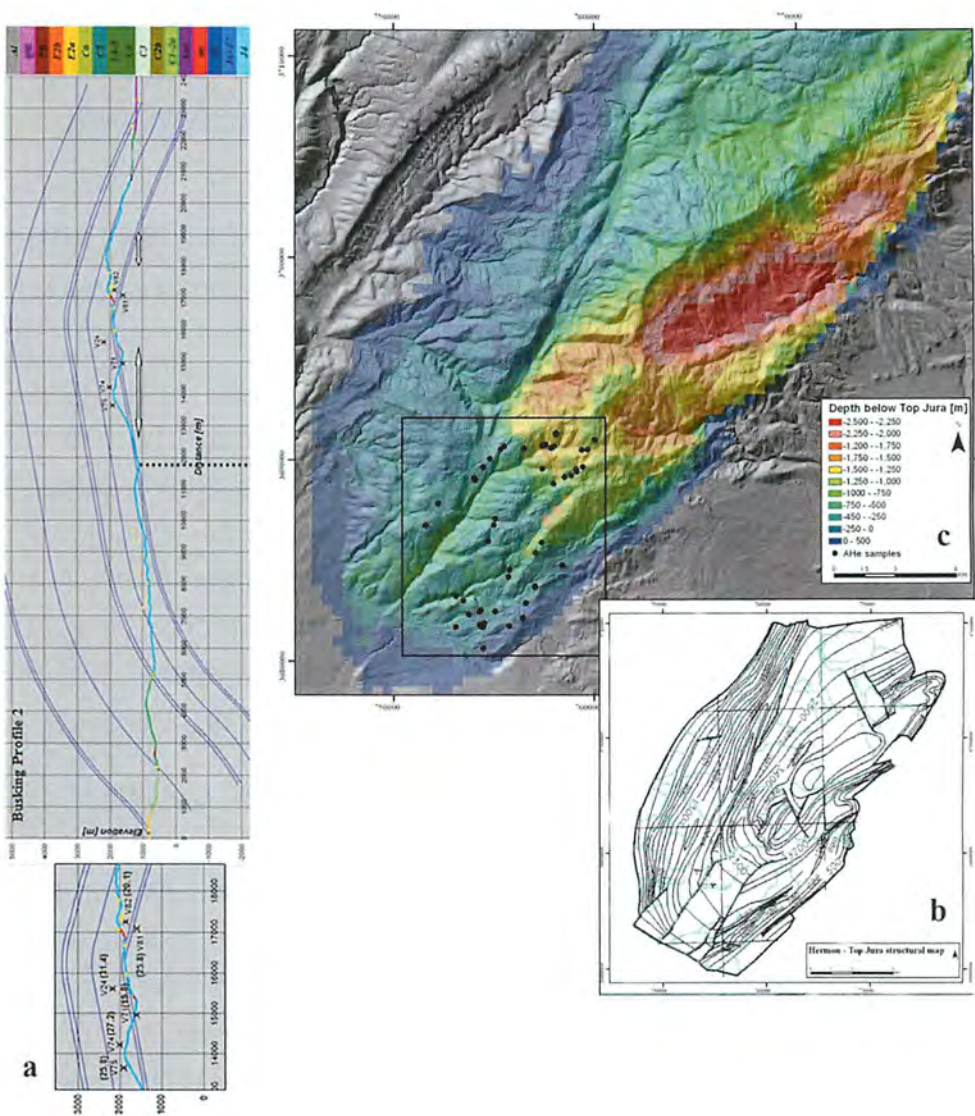
210° ~. כיוונים אלה מייצגים את אגפי האנטיקלינה ואת ציר המבנה הנוחת לכיוון דרום-מערב. עם זאת, ההתפלגות המרחבית של הנטיות מראה כי המעבר בין אגפי המבנה לאזור ציר הקמט בחרמון הדרומי הוא חד ולא הדרגתי. בנוסף, חתכי בסק ושחזורים מקומיים על בסיס הנטיות בחלק הדרומי מעלים כי עובי השכבות הצפוי של תצורת חרמון גדול מ-2000 מ'. עובי זה גדול פי שניים מהערכות העובי המירביות ביותר של תצורת חרמון אשר התבססו על שיקולים סטריגרפיים ולכן אינו סביר. עדויות אלה מעלות את האפשרות כי חלקו הדרומי של החרמון הינו בלוק סטרוקטורלי נטוי המופרד מהמבנה העיקרי באמצעות העתקים (שיאון? גובתא?).

חישוב ציר הקמט באמצעות π -diagram (איור 9) מראה כי כיוון ציר הקמט עבור כלל המבנה הוא $5^{\circ}/226^{\circ}$, $\alpha_{95}=5^{\circ}$. נטיית הציר המתונה יותר מנטיית השכבות בחלקו הדרומי של החרמון תומכת אף היא בכך שנטיות אלה מייצגות בלוק סטרוקטורלי נפרד. הניתוח מאפשר להעריך את מיקום ציר האנטיקלינה באזור החרמון הדרומי ביחס לשיא המבנה הנחשף במכתש ערנה. בהתאם לכיוון המחושב של ציר הקמט, נערכו חתכי בסק בניצב לציר המבנה (איור 10). באזורים בהם קיימות מספר מדידות על פני מרחק מצומצם נמצא הציר המשותף בעזרת שיטת ה-Modified Busk (Reches et al., 1981).

החתכים מאפשרים להעריך את המיקום היחסי של הדוגמאות עבורם נקבעו גילי הקירור בתוך החתך היוראסי. הערכה נוספת למיקום הדוגמאות בחתך נעשתה באמצעות מפה סטרוקטורלית של גג היורא בחרמון (Hirsch et al., 2002). באזורים בהם השחזור פחות מדויק (בעיקר במרכז המבנה) תוקנה המפה הסטרוקטורלית על פי נטיית השכבות המקומית. עומק הדוגמאות ביחס לגג היורא חושב כהפרש בין גובה האופק המנחה לפי המפה הסטרוקטורלית לגובה הטופוגרפי העכשווי של כל דוגמא (איור 10).



איור 9: a - איפיון הנטיות במרחב החרמון על גבי מפה גיאולוגית. חץ שחור - מיקום ציר הקמט, קו אדום מקווקו - מיקום חתך הבסק המופיע באיור 10. b - חלוקה מרחבית של המבנה בהתאם לכיוון הדיפס. c - דיאגרמה המציגה את התפלגות כיווני הדיפס, הצבעים תואמים ל-b. d - שחזור ציר הקמט באמצעות השלכה סטריאוגרפית שוות שטח בהמיספרה תחתונה - π -diagram. הנקודות מייצגות קטבים לשכבות, נקודות ירוקות - חלקו הדרומי של מרכז המבנה. הקו האדום הוא המעגל הגדול בעל ההתאמה הטובה ביותר לקטבים. נקודה 3 היא ציר הקמט המחושב, $\alpha_{95}=5^\circ$.



איור 10: a - חתך בסק מדוד בניצב למבנה החרמון, למיקום ראה איור 9. הקיום הכחולים הדקים הם השכבות המשוזרות, הקו העבה הוא חתך טופוגרפי והיחידות החשופות בפני השטח והנקודות הצהובות הן מיקום מדידת הדיפוז. מיקום מוערך של דוגמאות התרמוכרונולוגיה מסומן בכוכבית. העתק שיאון/שבעא מסומן בקו שחור מקוטע. החתך נוצר בפתרון ממוחשב (Guralnik, 2006). b - מפה סטרקטורלית של גג היורא (Hirsch after et al., 2002). הנחלים הראשיים מסומנים על גבי המפה. c - העומק המחושב בכל נקודה מתחת לגג היורא. מיקום הדוגמאות שנאספו עבור אנליזה תרמוכרונולוגית מסומן בשחור.

מתחנה 3א' נלך לכיוון דרום לתצפית על עמק בולען והרכסים המקיפים אותו. בדרך נתרשם ממישור העתק גדול ועליו סימני החלקה (סטריאציות), ונתייחס בקצרה למשמעות העתקים קטנים כמנגנון להתקצרות המבנה.

תחנה מס' 3ב': מצפה שלגים (275625/802480, 2190 מ')

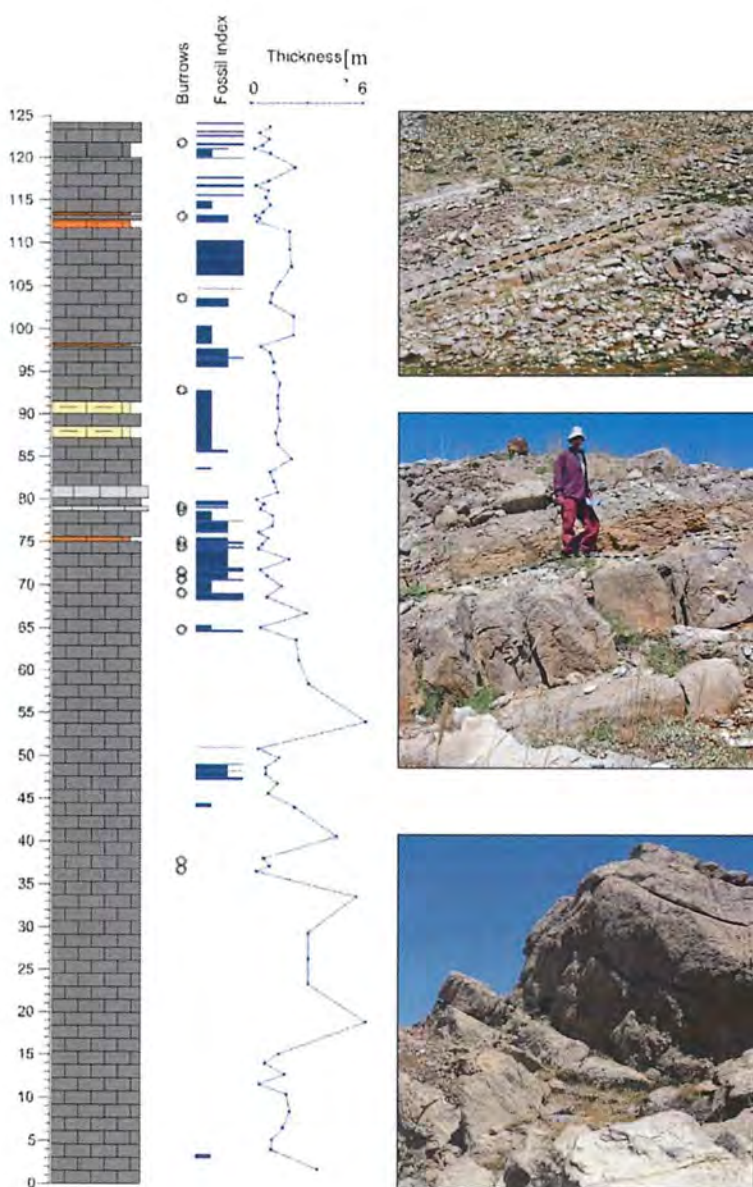
תצפית על עמק בולען; איפיון תצורת חרמון; אופי וקצב האירוזיה בחרמון.

תצורת חרמון

היחידה העבה ביותר בחתך (> 700 מ'), הבונה את מרכז ההר ואת מרבית חתך החרמון בישראל, הינה תצורת חרמון (תצורת *Kesrouane* בלבנון, תצורת *Hermon* בסוריה, ו- J4 על פי Dubertret) הבנויה בעיקר גיר ביומיקריטי אפור ומסיבי, עם מעט שכבות ביניים דקות של חוואר ולעיתים גופים אי-רגולריים של דולומיט גס-גביש. ביחידה הוגדרה פאונה הכוללת סטרומטופורואידים, אלמוגים, ספוגים, צדפות, ברכיפודים אצות ופורמינפרים (Goldberg et al., 1969; Derin, 1974, 1981, 1989).

גיל Bathonian תיכון עד Callovian נקבע ליחידה זו על בסיס פורמינפרים אינדיקטיביים ומאסף האמוניטים (Derin, 1969, 1974; Razvalyaev, 1966; Krasheninnikov, 2005). מרבית החתך קורלטיבי בקירוב לחלקה העליון של תצורת חיפה שנמצאה בקידוחים בצפון הארץ ואילו חלקה העליון ביותר של התצורה (כ- 90 מ') קורלטיבי לתצורת זוהר בדרום הארץ. בגגה מצויים שפע של אמוניטים ובלמניטים. עובי תצורת חרמון הוערך בכ - 700-1000 מ' (Dubertret, 1956; Goldberg, 1980; Goldberg et al., 1969, 1981, 1989; Hirsch, 1996; Sneh & Weinberger, 2003b; Krasheninnikov, 2005). Goldberg (1981, 1989) הציע לחלק את תצורת חרמון ל- 4 פרטים על בסיס עובי השיכוב, הופעת נבירות ומורפולוגיה, אך פרטים אלה אינם ברי מיפוי (בהתאם לסיוור משותף עם Goldberg בשנת 2008).

האחידות היחסית בהופעת השדה של השכבות הבונות את תצורת חרמון מקשה על קביעת עובייה המדויק, חלוקתה ליחידות משנה, והערכת המיקום הסטרוקטורלי במבנה והתנועה לאורך העתקים המפרידים בין בלוקים שונים (e.g., Heimann et al., 1990; Baer et al., 1997).



איור 11: חתך עמודי מוכלל של חלק מתצורת חרמון באזור מצפה שלגים ועמק בולען. החלק התחתון מאופיין בשכבות עבות חסרות מאובנים והחלק העליון מאופיין בשיכוב דק יותר המכיל מאובנים, נבירות ושכבות דקות בעלות הופעה חריגה בחתך.

חתך ברזולוציה גבוהה בחלקה התחתון של תצורת חרמון (כ- 125 מ') נערך באזור עמק בולען ומוצב "מצפה שלגים" ומצביע על מספר תופעות (איור 11). קיימים הבדלים בולטים במאפיינים ובהופעה בשדה (איור 11) בין חלקו התחתון של החתך

(60~0 מ') לחלקו העליון (125-60 מ'). החלק התחתון מאופיין בשכבות עבות (6-3 מ') אחידות וללא מאובנים (סטריליות), ואילו החלק העליון בשיכוב דק יותר (> 1 מ') ובעל תכולת מאובנים משמעותית, נבירות ושכבות חריגות בהופעתן בשדה. המאובנים והנבירות מרוכזים לרוב בגג השכבה ויוצרים לרוב שכבה דקה דמויית קרום הנראה לעיתים מבוזל. הנבירות מלאות לרוב בחומר צהבהב שהוא גס יותר מהמטריקס העיקרי המרכיב את הסלע. בניגוד למרבית החתך שהוא גיר ביומיקריטי אפור, בחלק העליון קיימות מספר שכבות דקות בעלות גוון צהבהב ומטריקס גס יותר תמוך גרגר (Packstone), הנוטה להתפרק וליצור מדרגה שלילית בנוף (איור 11). לשכבות אלו השתרעות מרחבית והן מופיעות במיקום סטרטיגרפי דומה בכל אזור החתך (עמק בולען). ההופעה יוצאת הדופן של שכבות אלה על רקע האחידות הליתולוגית של שאר החתך, מאפשרת זיהוי שלהן גם בתצלומי אוויר ברזולוציה גבוהה. שכבות כאלה מהוות סמן סטרטיגרפי פוטנציאלי בחתך המסיבי והאחיד של *תצורת חרמון*, אך עד עתה הן לא מופו באזורים אחרים בחרמון.

אופי וקצב האירוזיה בחרמון

רכס החרמון והרי מול הלבנון והלבנון הם הרכסים הדרומיים ביותר במזרח הלבנט עם תנאים אלפיניים. הטמפרטורה השנתית הממוצעת באזור מצפה שלגים היא כ- 7°C והטמפרטורה הממוצעת בינואר היא -2°C . כמות המשקעים השנתית הממוצעת היא כ- 1500 מ"מ וחלק ניכר מהמשקעים בגבהים שמעל 1500 מ' מצטבר כשלג.

קצבי האירוזיה המכנית והכימית ברכס החרמון לא נמדדו באופן ישיר עד כה. עם זאת, ברכסים קרבוניים אחרים במרחב הים תיכוני עם כמויות משקעים נמוכות בהרבה (כ- 600 מ"מ לשנה) קצבי אירוזיה המבוססים על האיזוטופ הקוסמוגני כלור 36 עומדים על כ- 20-30 מ' למ"ש גם בפרשות מים עם שיפועים טופוגרפים נמוכים (Ryb et al., 2014a, b; Haviv et al., 2006). באזורים תת-לחים אלה נכרת מגמה ברורה של עליה בקצבי האירוזיה עם העלייה בכמות המשקעים שמשקפת יעילות גוברת של בליה כימית (המסה). בהתחשב בכמויות המשקעים הגבוהות בחרמון ניתן להתייחס לקצבים שנמדדו ברכסים יבשים יותר כהערכת מינימום לחרמון. מכאן שהיכולת של פני שטח קדומים ("מפלסי גידוע") לשרוד ללא הנמכה משמעותית במשך מיליוני שנים מוטלת בספק. היעילות הרבה של הבליה הכימית במרחב החרמון ניכרת בנפיצות מרשימה של תופעות המסה (קארסט אלפיני) ברמת המאקרו והמיקרו (איור 12) ובכלל זה דולינות, מערות, קארן לסוגיו ועמקים כדוגמת עמק

בולען ועמק שיאון (Frumkin et al., 1998). עדות למערכת הניקוז התת קרקעית המפותחת ברכס התקבלה בניסוי נתבים (tracers) שהוחדרו בדולינת שיאון וזוהו במעיינות הבניאס לאחר 6 ימים (Gilad, 1975). בנוסף לבליה הכימית מחזורי הקפאה והפשרה בחרמון הגבוה מאיצים אירוזיה מכנית על ידי Frost Cracking.

עמק בולען הפרוס למרגלותינו חריג במאפייניו המורפולוגיים: הוא ממוקם בסמיכות לפרשת המים ללא אגן ניקוז שתורם אליו נגר עילי, אך למרות זאת הרלייף הטופוגרפי שלו מרשים (כ- 200 מטר) וכך גם רוחבו (כ- 1 ק"מ בין שלוחת מצפה שלגים לשלוחת המוצב הישראלי). אורך העמק כ- 2 ק"מ שיפוע הקרקעית שלו מתון, ולא נכרים בקרקעיתו סימנים לאירוזיה פלוביאלית. סביר כי העמק הוא ביטוי להמסה קארסטית אינטנסיבית במספר דוליות בשילוב עם הפרעה סטרוקטוראלית שקשורה לקצה הצפוני של העתק גובתא. עם זאת, ראוי לציין כי בשל המורפולוגיה היחודית של העמק שמזכירה עמקי U הוצע בעבר שהוא עוצב ע"י קרחונים (Kaiser, 1963, Gvirtzman, 1975). גובה ה-ELA (Equilibrium Line Altitude) שמעליו נוצרים קרחונים חופף בקירוב את הגובה שבו הטמפרטורה הרב שנתית הממוצעת היא 0 מעלות. בתנאי האקלים הנוכחיים ה-ELA הוא ברום של כ- 3250 מ'. שחזור טמפרטורה עבר ברכס החרמון בעזרת נטיפים ממערת מצפה שלגים, Ayalon et al., (2013) מעיד כי במהלך שיא תקופת הקרח האחרונה יתכן כי הטמפרטורה הממוצעת ירדה מעט מתחת לאפס מעלות, ואף נפסקה השקעת הנטיפים.



איור 12: a. המסה לאורך קווי סידוק (kluftkarren). b. דולינה בעמק ערער (ברכת מן). c. דולינה בשלוחת חרמון. d. עמק בולען. משמאל המוצב "ישראלי". רלייף העמק כ- 200 מטר. e. עמק בולען תחת מעטה שלג.

תחנה מס' 4: מוצב עליון (273520/801710, 2075 מ')

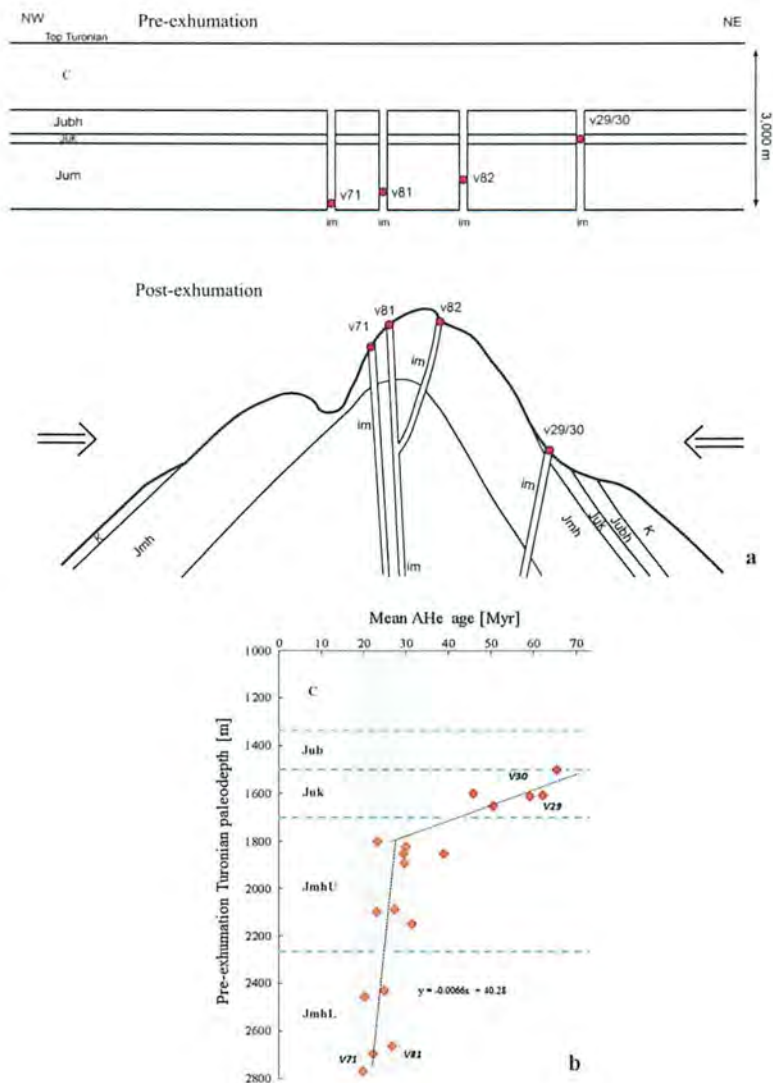
תצפית על מערב החרמון (רכס שלהבית, שלוחת שריון, הר שקד, הר שזיף), הר דב והחלק הדרומי של הרי הלבנון; השפעת המחדרים על עיצוב הנוף; גילי הקירור סמוך לציר המבנה; משמעותם של אזורים עם רליף טופוגרפי ושיפוע נמוך.

השפעת המחדרים בחרמון על עיצוב הנוף

מיפוי מחודש של המחדרים המגמתיים במרחב החרמון (איורים 3,6) מעיד כי נפח היחידות המגמתיות בחתך הסדימנטרי הוא משמעותי מהמשוער ומשפיע ישירות על עיצוב הנוף במרחב החרמון. עמידות מרבית המחדרים לבלייה נמוכה מזו של סלעי הגיר הקשים של תצורת חרמון וברוב המחשופים המחדרים בלויים מאוד ולעתים קרובות המופע שלהם חרסיתי. כתוצאה מכך ערוצים רבים עוקבים אחר גבולות המחדרים עם חפיפה מלאה או חלקית, כך למשל שני הערוצים הקטנים של אתר הסקי למרגלותינו התפתחו כמעט לגמרי על בסיס מחשופי מחדרים. דוגמאות נוספות כוללות את החלק העליון של נחל שיאון ונחל חבושית, מקטעים קצרים מערוצי החזורי והגובתא, אזור ה"ערוץ הלח" (תחנה 5), בסיס בקעת מן, וחלק נרחב מהאזור הנמוך של הגרן במזרעת ברחתא (תחנה 5).

גילי הקירור סמוך לציר המבנה

גילי הקירור הממוצעים של מחדרים הסמוכים לציר המבנה נעים בין 20-30 מ"ש. זאת בניגוד למחדרים מהשוליים הדרום מזרחיים של המבנה (תחנה 2) שנתנו גילי קירור ממוצעים של 60-65 מ"ש. על מנת לבחון את דגם שינוי הגילים במרחב, שוחזר העומק המוערך בו שהו הדוגמאות בסוף הטורון ונבחן אל מול גיל הקירור הממוצע (איור 13). עובי החתך המשוחזר מעל הדוגמאות עד לגג הטורון (העובי המוערך מעל גג היורא + המיקום המוערך בחתך היוראסי) הינו 1500-1700 באגף המבנה המזרחי ו-2400-2800 במרכזו. דוגמאות המצויות סמוך למפלס של גג תצורת חרמון או בתוך תצורת כידוד חוו טמפרטורות הקרובות לטמפ' הסגירה של המערכת (50°C - 70°C) בתקופה קדומה יותר ותיעדו את ההיסטוריה התרמאלית מוקדם יותר. לעומת זאת, דוגמאות מהחלקים העמוקים ביותר של החתך החשוף היו תחת עובי כיסוי גדול יותר, והחלו לצבור הליום רק בשלבים מאוחרים יותר בהרמה כשחצו את טמפרטורת סגירת המערכת (איור 13).



איור 13: a - חתך סכמטי מופשט הממחיש את המיקום הסטריגראפי והסטרוקטורלי של דוגמאות המחדרים שתוארכו. למעלה חתך תת-אופקי בסוף הטורון עם עובי הכיסוי המוערך מעל הדוגמאות. למטה לאחר קימוט התרוממות ואקסומציה של הדוגמאות לפני השטח. Jmh - תצורת חרמון, Juk - תצורת כידוד, Jubh - תצורת חלוצה ובאר שבע, C - קרטיקון עד לגג הטורון, im - מחדרים מגיל קרטיקון תחתון. b - גילי קירור כתלות בעומק הסטרוקטורלי המוערך בסוף הטורון (a). הגיל הממוצע מסומן במעויין כתום. טווח גילים מצומצם יחסית על פי הפרש סטרוקטורלי ניכר (1800-2800 מ') מעיד על קירור מהיר משמעותי בתקופה זו (20-30 מ"ש). השיפוע המחושב מעיד על קצב אקסומציה של כ- 150 מ' למ"ש בפרק זמן זה. JmhL - חלקה התחתון של תצורת חרמון, JmhU - חלקה העליון של תצורת חרמון, Juk - תצורת כידוד, Jubh - תצורת חלוצה ובאר שבע, C - קרטיקון.

טווח גילי הקירור המצומצם יחסית, המתקיים על פני הפרש סטרוקטורלי רחב (כ- 1000 מ'), מעיד על קצבי קירור גבוהים, ומשקף אקסומציה משמעותית בתקופה זו (בין 20-30 מ"ש), בקצב של כ- 150 מ' למ"ש. בתרחיש זה דוגמאות שמיקומן הסטרוקטורלי שונה חוצות תוך זמן קצר יחסית את "עומק הסגירה" של המערכת, זמן השהות שלהן באזור הצבירה החלקי (PRZ) קצר, ולכן גילי הקירור דומים (e.g., Stockli, 2005).

מידול נומרי (איור 14a) של הדוגמאות ממרכז המבנה מעיד אף הוא כי אקסומציה משמעותית החלה בפרק הזמן שבין 20-30 מ"ש ונמשכה לאחר מכן. עבור הדוגמאות העמוקות מסלולי זמן טמפרטורה בהם כלל הקירור והאקסומציה צעירים מגיל מיוקן מוקדם אינם בגדר פתרון אפשרי. אינברסיה נומרית עם אילוץ שמחייב את הקירור להתחיל פוסט 18 מ"ש לא מניבה תוצאות אפשריות (איור 14b). סביר, עם כן, כי האקסומציה החלה לפני תחילת התנועה על טרנספורם ים המלח. בשלב זה היכולת לזהות שלבים באקסומציה בתקופה המאוחרת ל- 20-15 מ"ש הינה מוגבלת. שחזור מפורט יותר של היסטורית הקירור הצעירה יתבצע בהמשך המחקר בעזרת $^4\text{He}/^3\text{He}$ (ראו פירוט בתחנה 5).

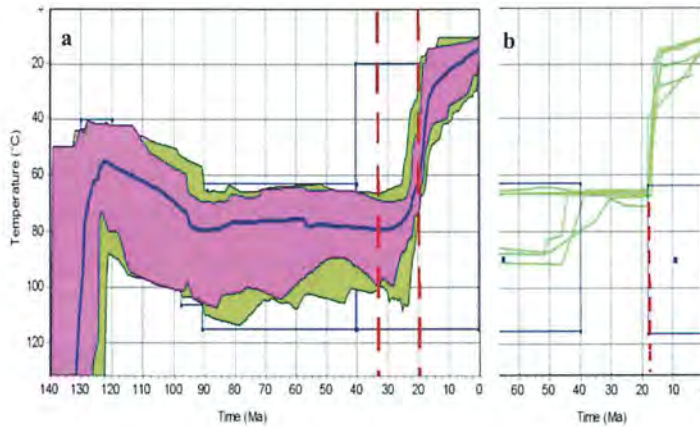
חימום תרמאלי של הדוגמאות עקב פעילות מגנטית במרחב החרמון (ח'רת א-שאם?) אינו סביר מהשיקולים הבאים:

1. וולקניזם מגיל דומה (20~ מ"ש) הקרוב ביותר לחרמון נמצא במרחק מינימלי של כ- 30 ק"מ ונפחו מוגבל יחסית (Ilani et al., 2001; Trifonov et al., 2011; Weinstein & Garfunkel, 2014).

2. לא נמצאו גילי קירור התואמים וולקניזם צעיר (פליוקן-פלייסטוקן) הנמצא בסמיכות גדולה בהרבה.

3. בדוגמאות משולי המבנה התקבלו גילי קירור עתיקים בהרבה מגיל המגמתיים.

4. חימום מוביל לאיבוד גדול יותר של הליום מהגביש ויתכן שאף "לאיפוס" הגיל. על מנת לקבל גילי קירור של 20-30 מ"ש לאחר חימום לפני 20~ מ"ש, דרוש תרחיש מורכב ופחות סביר הכולל מעבר מהיר לקירור שיאפשר צבירה מחודשת של הליום.

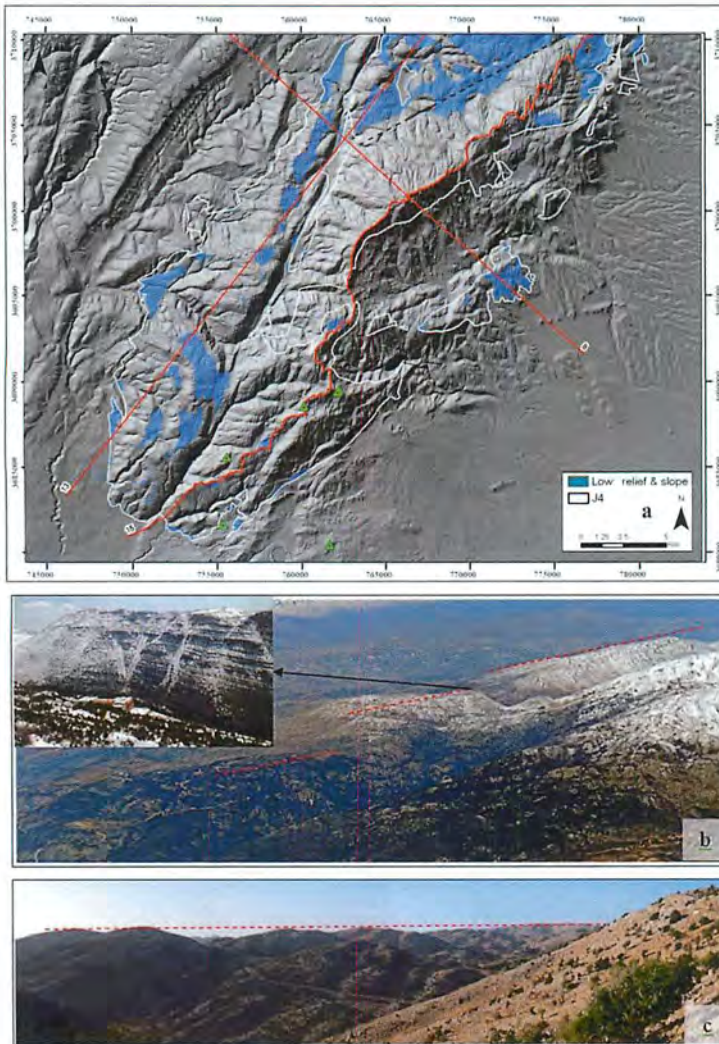


איור 14: פתרונות אינברסיה של גילי (U-Th)/He ו-Fission Tracks למסלולי זמן-טמפרטורה אפשריים בעזרת מודל תרמאלי נומרי, עבור דוגמה מייצגת ממרכז מבנה החרמון בסמוך לציר המבנה. הקופסאות הכחולות מגדירות מרחב $t-T$, בו המסלולים חייבים לעבור בהתאם לאילוצים גיאולוגיים. ברור מצויינים מסלולים בעלי התאמה טובה ובירוק מסלולים בעלי התאמה אפשרית. הקו הכחול הינו ממוצע משוקלל של כלל המסלולים. a - דוגמה כאשר המודל יכול להתחיל קירור בכל זמן ללא הגבלה. הקווים המקווקוים האדומים תוחמים את הזמן בו מתחיל קירור משמעותי של הדוגמאות. פתרונות המודל מתכנסים לאלומה צרה יחסית בזמן זה. b - דוגמה כאשר המודל מחייב להתחיל בקירור פוסט 18 מ"ש. אין פתרונות טובים לתרחיש זה.

רליף טופוגרפי ושיפוע בחרמון

על מנת להבליט תופעות גיאומורפולוגיות ומבנים במספר קני מידה במרחב החרמון הוכנו מפות רליף מרחביות ומפות שיפוע ממוצע ברדיוסים שונים (100 ו 500 מ'). המפות והחתכים מבליטים מספר אזורים גבוהים בעלי רליף ושיפוע נמוך (הר דב, רכס הכריסטופני, הר שזיף ועוד, איור 15) שמנגנון ההיווצרות שלהם, הגובה בו הם נוצרו, והזמן בו הם עוצבו דורש ברור מעמיק. יתכן למשל כי הם קשורים לבליה כימית (קארסט) אינטנסיבית. אזורים אלו יוכלו לשמש לשם הערכת מידת ההרמה ובחינת מנגנון ההרמה באם יוכח בעתיד כי הם שרידים של מפלסי אירוזיה בעלי השתרעות מרחבית, ובנוסף ימצאו עדויות לגובה בו הם נוצרו ולמידת הארוזיה שהם עברו מאז ההיווצרות. מנגנון של גידוע אוליגוקני נרחב אשר יצר אזורים אלה אינו הכרחי ולפחות לדעת חלק ממדריכי הסיור גם אינו סביר. המידול התרמאלי (איור 14) של כלל הדוגמאות, ממרכז המבנה, אכן מצביע על אירוזיה משמעותית באוליגוקן-מיוקן מוקדם אך גם מעיד על המשך אירוזיה לאחר מכן שתרמה להסרה נוספת של חתך מינימלי של מאות מטרים. זאת ועוד, קצבי האירוזיה הצפויים

בחרמון (כפי שהורחב בתחנה 3ב') מעמידים בספק את היכולת של פני שטח קדומים ("מפלסי גידועי") לשרוד ללא הנמכה משמעותית במשך מיליוני השנים שלאחר היווצרותם. במפות המרחביות שהוכנו בולטים המורדות המערביים של רכס החרמון לכיוון ואדי שבעא ונחל שיאון כאזורים בעלי רלייף ושיפועים גבוהים. בנוסף במורדות הצפון מערביים ניתן לזהות מעבר חד מאזור בעל רלייף ושיפוע גבוה לאזור בעל ערכים נמוכים ללא שינוי ליתולוגי (איור 15 והרחבה בתחנה 5).



איור 15: a - אזורים בעלי רלייף ושיפוע ממוצע נמוכים (מסומנים בכחול). גבולות תצורת חרמון (J4) מסומנים בקו לבן. קו שחור מקווקו מסמן מעבר חד מערכים גבוהים לנמוכים ללא שינוי ליתולוגי. מיקום חתכים טופוגרפיים מסומן באדום, ותחנות הסיוור בירוק. b, c - אזורים בחלקים הגבוהים של הר דב ורכס הכריסטופני המתאפיינים בערכי רלייף ושיפוע נמוכים.

תחנה מס' 5: הר כחל (268735/799030, 1410 מ')

תצפית על נחל שיאון, גרבו ברחתא והר דב; בחינת פרופילי האורך של הערוצים המנקזים את החרמון; סיכום התפתחות מבנה החרמון והקשר לאירועים טקטוניים גאולוגיים.

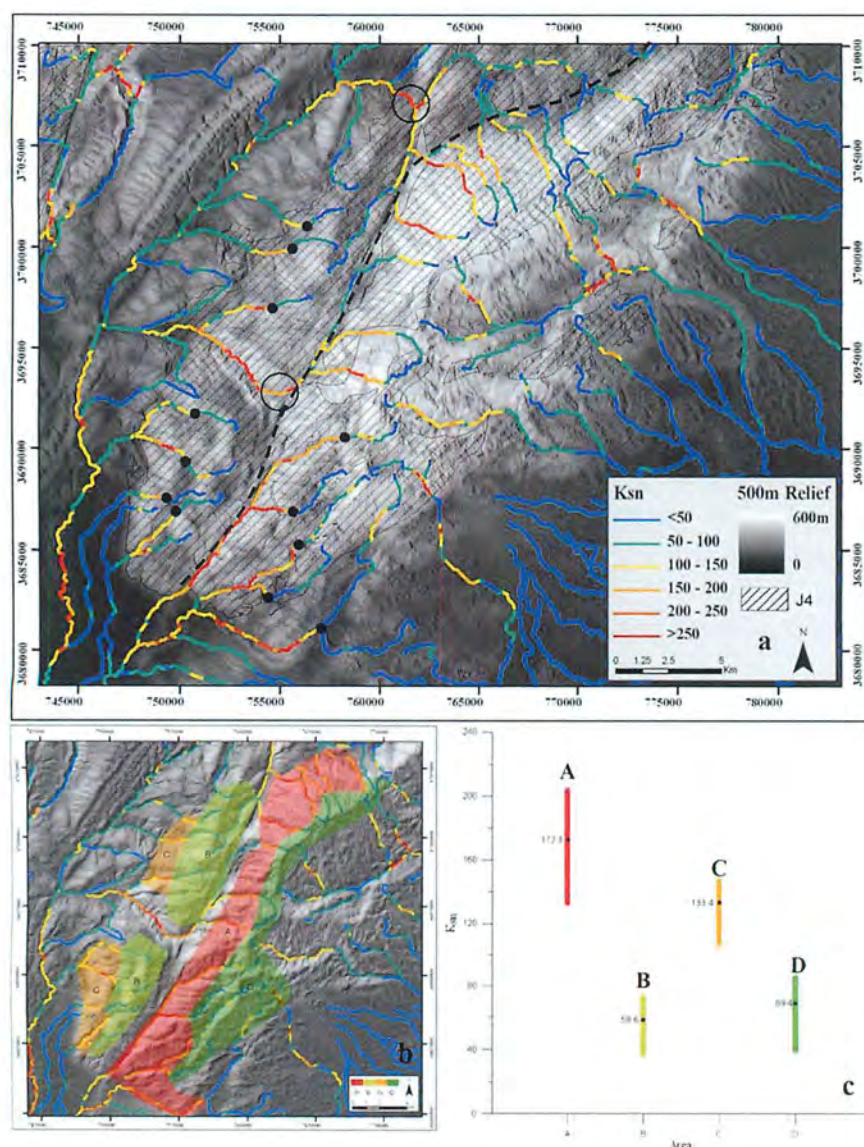
בתחנה זו נלך ממוצא בקעת מן לאורכו של נחל ערער עד לאנדרטת הטייס (כ-750 מ'), וממנה נטפס לפסגת הר כחל לצורך תצפית וסיכום הסיור. במהלך ההליכה נשים לב לשינוי המהיר של פרופיל נחל ערער מאפיק רחב ומתון לאפיק צר ותלול המתחתר בסדרה של מפלים עד חיבורו לנחל שיאון (על המשמעות הגיאומורפית והטקטונית של תצפית זו נערוך דיון בפסגת הר כחל). בהמשך ההליכה נעצור ליד מחשוף דייק גברואי אשר נדגם לאנליזה תרמוכרונולוגית ונציג את השפעתו על התפתחות הקרקע והצומח באזור זה.

אנליזה מורפולוגית של פרופילי נחלים

השתנות השיפוע של נחל ערער על פני מרחק כה קצר מאפיינת את דגם התחתרות הערוצים בצידו המערבי של רכס החרמון. נחלים מגיבים במהירות יחסית לאירועים טקטוניים כגון הרמה כתוצאה מהעתקה, קימוט או הנמכה של בסיס הניקוז (Wobus et al., 2006; Quimet et al., 2009) ועשויים לשקף גרדיינטים מרחביים בקצבי אירוזיה והרמה. מחקרים עכשוויים באזורים רבים בעולם (רכס ההימלאיה, רכס החוף של קליפורניה, מבני התקצרות לאורך העתק הסאן אנדריאס) מעידים כי המדד הגיאומורפולוגי בעל המתאם הגבוה ביותר לקצבי אירוזיה והתרוממות הינו אינדקס תלילות ערוצים מנורמל (Normalized channel steepness index- K_{sn}) (Wobus et al., 2006; Kirby et al., 2007; Dibiase et al., 2010). אינדקס זה (K_{sn}) מתקבל מרגרסיה של שיפוע הערוץ (S) כנגד גודל האגן (A) עבור מקטעים שונים לאורך אותו ערוץ, (Wobus et al., 2006):

$$S = K_{sn} A^{-\theta_{ref}} \quad (2)$$

$$K_{sn} = \frac{S}{A^{-\theta_{ref}}}$$



איור 16: a - אינדקס תלילות ערוצים מנורמל ($K_{sn}, \theta_{ref}=0.45$) מחושב עבור נחלים בעלי אגן ניקוז הגדול מ- 5 קמ"ר באזור החרמון. ברקע מפת רלייף מחושבת עבור רדיוס של 500 מ'. תצורת חרמון (J4) מסומנת בקווים אלכסוניים. נקודות נקע מסומנות בשחור, העתקה חשודה כצעירה מסומנת בקו שחור מקווקו ואזורים עם סבירות לשביית נחלים מסומנים בעיגול שחור ריק. b - חלוקה למרחבים שונים על פי ערכי K_{sn} . עבור כל אזור מוצג טווח בין-רבעוני (Q1-Q3) וממוצע. המקטעים המערביים בערוצים של החרמון והר דב מאופיינים בערכים גבוהים ואילו המקטעים המזרחיים בעלי ערכים נמוכים משמעותית. יתכן שההבדל משקף תגובה של הערוצים להנמכת בסיס הניקוז בעמק החולה/הרמת החרמון. באזור A ערך גבוה במיוחד, העשוי לשקף העתקה אנכית צעירה לאורך העתק רשאה והעתק או פלכסורה המקשרת את העתק רשאה עם העתק סרג'ה במזרח.

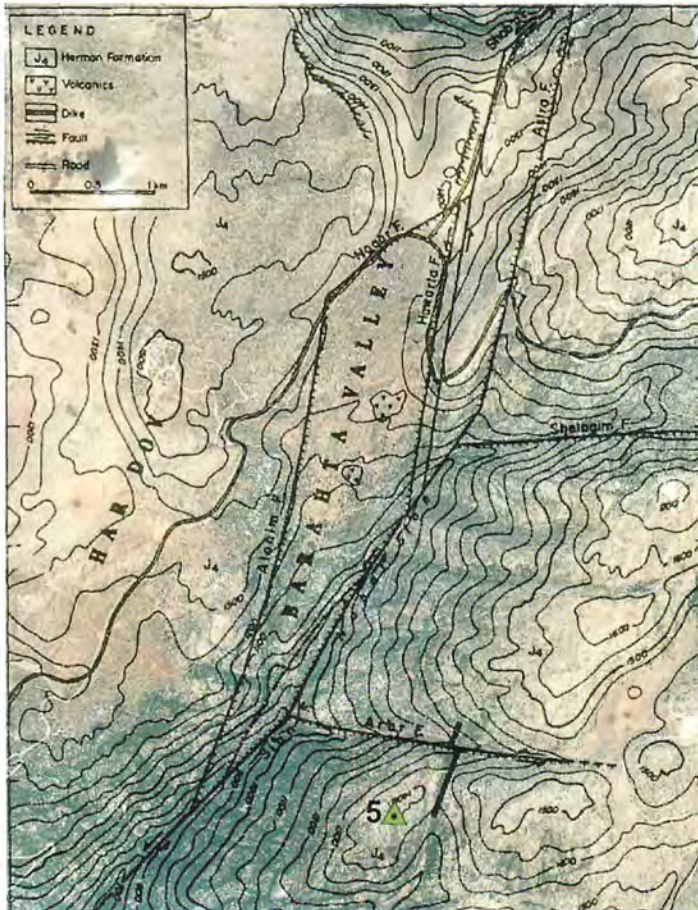
כאשר (θ_{ref}) הוא מדד לקעירות אופיינית של ערוצים (Concavity) וערכיו קבועים למדי בטווח שבין 0.4 ל 0.5 (Wobus et al., 2006). בנחל המתחתך בקצב אחיד לכל אורכו בתנאי מסלע ואקלים אחידים, אינדקס התלילות בראש הנחל (שיפוע גבוה אך גודל אגן קטן) יהיה זהה לאינדקס התלילות במורד הנחל (שיפוע נמוך אך אגן גדול).

אינדקס התלילות המנורמל (K_{sn}) חושב באזור החרמון עבור נחלים בעלי אגן ניקוז הגדול מ- 5 קמ"ר (כ- 100 ערוצים). השוואת האינדקס עבור הערוצים (איור 16) מצביעה על דגם מרחבי של שינויים בערך זה. המקטעים המערביים בערוצים של החרמון והר דב מציגים ערכים גבוהים ואילו למקטעים המזרחיים ערכים נמוכים משמעותית (איור 16). מאחר ודפוס זה לא נובע מהבדלים ליתולוגיים (מרבית הנחלים חתורים בתצורת חרמון) נראה שהוא מייצג תגובה לארוע טקטוני צעיר יחסית כהנמכת בסיס הניקוז בעמק החולה/הרמת החרמון. בתסריט שכזה האזורים המזרחיים (B, D) משקפים קצבי אירוזה שקדמו לארוע הטקטוני ואילו האזורים המערביים (A, C) משקפים התחתרות של הנחלים כתגובה לארוע. לנחלים המתנקזים לנחל שבעא ולנחל שיאון ממזרח (אזור A) ערכי K_{sn} גבוהים במיוחד, המשקפים כנראה תגובה להעתקה אנכית צעירה לאורך העתק שיאון-רשאיה. בנוסף, יתכן כי המעבר החד לערכי אינדקס תלילות גבוהים בצפון-מערב רכס החרמון משקף פעילות על העתק או פלקסורה (איור 16), שכיוונום SW - NE בדומה לכיוון ההעתקים ההפוכים (Thrust) המצויים בבסיס מבני הקימוט של הפלמיירידים (Chaimov et al., 1992).

העתק שיאון-רשאיה וגרובן מזרעת ברחתא

העתק רשאיה מהווה את המשכו הצפוני של העתק עוז וחוצה את החרמון בכיוון NNE לאורך נחל שיאון (איורים 4, 16). ברכס החרמון ההעתק מורכב משני קטעים, הדרומי - העתק שיאון והצפוני העתק שבעא, המסודרים בדרג שמאלי ללא חפיפה (Heimann et al., 1990). הסטה אופקית של כ- 3-1 ק"מ נקבעה לאורך העתק רשאיה בעיקר על סמך שיקולים מורפולוגיים והסטת קג"ל שיאון הפלייסטוקני (Freund, 1980; Heimann, 1985; Gomez et al., 2006). בנוסף למרכיב האופקי הוצע כי לאורך העתקי שיאון ושבעא קיימת העתקה אנכית בעוצמה של מאות מטרים (Dubertret, 1956; Dargkawth, 1975; Heimann et al., 1990; Daëron, 2005).

עמק מזרעת ברחתא הוא רומב-גרבן הממוקם באזור הדרוג שבין העתק שיאון והעתק שבעא (איור 17), ומוקף מארבעת עבריו בהעתקים (Heimann et al., 1990): מדרום-מזרח העתק שיאון שהוא העתק אופקי עם מרכיב אנכי של כ-400 מ', העתק אלונים ממערב והעתק נקר מצפון שהם העתקים נורמלים היוצרים רלייף טופוגרפי ניכר (150-200 מ'). ממזרח העתקי אסטרא וחוורתא המקבילים, שהם העתקים אלכסוניים עם מרכיב אופקי ורלייף טופוגרפי של 400 מ' ו-200 מ' בהתאמה. חישוב קינמטי מצביע על כ-700 מ' של תנועה אופקית שהועברה מהעתק שיאון להעתק שבעא בעיקר לאורך העתקי אסטרא וחוורתא תוך כדי רוטציה אפשרית של בלוקים (Heimann et al., 1990). האחידות הליתולוגית של תצורת חרמון מקשה על הערכה מדויקת של מידת ההסטה לאורך העתקים וייתכן כי ההסטה קטנה יותר.



איור 16: מערכות העתקה עיקריות באזור מזרעת ברחתא היוצרות רומב - גרבן. ברקע תצ"א, תחנה 5 מסומנת בירוק (modified after Heimann et al., 1990).

סיכום

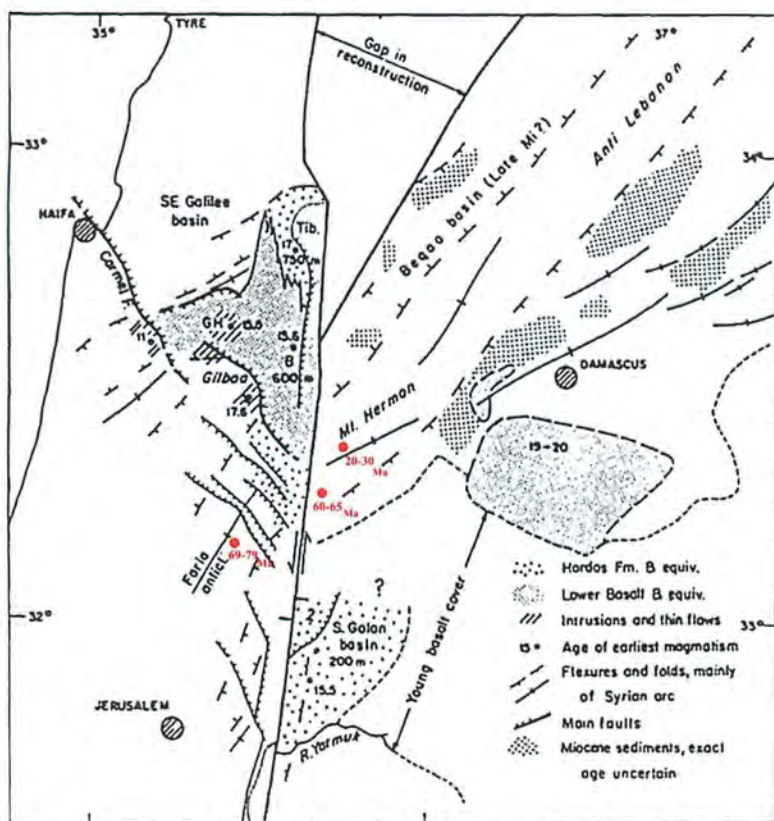
גילי הקירור מאזור ציר מבנה החרמון נעים בין 20-30 מ"ש ו- 60-65 מ"ש בדוגמאות מהאגף הדרום-מזרחי של המבנה. גיל הדוגמאות תלוי במיקומן במבנה החרמון יחסית לציר האנטיקלינה ובעומק הסטרוקטורלי של כל דוגמא. בשולי המבנה קצבי האקסומציה הממוצעים ארוכי הטווח הינם בשיעור של כ- 25-30 ~ מ' למ"ש (עבור 60 מ"ש), ואילו באזור ציר המבנה הקצבים מעט גבוהים יותר - 45-50 ~ מ' למ"ש (עבור 60 מ"ש). קצב האקסומציה הגדול ביותר חושב באוליגוקן-מיוקן מוקדם (20-30 מ"ש) ועומד על כ- 150-160 ~ מ' למ"ש. קצבים אלו דומים לקצבי אקסומציה שחושבו עבור חלק מאזורי ההתקצרות שלאורך העתק הסאן-אנדריאס בקליפורניה (Spotila et al., 2007), לקצבי הרמה צעירים בשוליים המערביים של הרי הלבנון שהוצעו על ידי Gomez et al. (2006), על בסיס שיקולים סטרטיגרפיים, ולקצבי אירוזה קצרי-טווח שחושבו בסביבה אקלימית וטופוגרפית דומה, אם כי לחה פחות, בהרי יהודה בישראל (Haviv et al., 2006; Ryb et al., 2014a, b).

מספר פאזות טקטוניות יכלו לתרום להתפתחות מבנה החרמון: 1. התרוממות סנונית-פליאוקנית כתוצאה מהפעלה של מבני הקשת הסורית; 2. הרמה משמעותית באוליגוקן כהדגשה של מבני הקשת הסורית ו/או כחלק מהתרוממות בסקלה של כלל הלוח הערבי; 3. הרמה כתוצאה מתחילת התנועה על הטרנספורם במיוקן (18 ~ מ"ש); 4. הרמה ואירוזה צעירים החל מהפלוקן כתוצאה מהתווספות רכיב לחיצה לתנועת הטרנספורם.

דגם הקירור והמידול התרמאלי של הדוגמאות מעידים כנראה כי צבירת החתך הסדימנטרי במבנה החרמון הסתיימה כבר בסנון (סנטון-מאסטריוט). מידת האקסומציה בסוף הסנון-תחילת פלאוקן אינה חד משמעית אך נראה כי מוגבלת לכמה מאות מטרים. שחזור ההסטה לאורך טרנספורם ים המלח (90-100 ק"מ) מעמיד את מבנה החרמון בהמשך אנטיקלינת פריעה (Garfunkel, 1989) מצידו המערבי של טרנספורם ים המלח (איור 18). גילי קירור של דוגמאות מהחתך הוולקני בבסיס הקרטיקון בואדי אל מליח (חלקו העמוק ביותר של אנטיקלינת הפריעה) הינם 69-79 מ"ש. גילים אלה תומכים אף הם בתחילת אקסומציה של מרחב אנטיקלינת החרמון-פריעה בסנון-תחילת פליאוקן.

מידול תרמאלי של גילי הקירור ממרכז המבנה מעיד כי קירור ואקסומציה משמעותית החלו באוליגוקן המאוחר - מיוקן מוקדם, לפני תחילת התנועה על

הטרנספורם. המידול מצביע על המשך אקסומציה מזמן זה ואילך ואינו תומך באירוזיה שסיימה את עיצוב המבנה בסוף האוליגוקן (תסריט "מישור הגידוע"). בשלב זה הנתונים שבידנו אינם מאפשרים לכמת ארועי אקסומציה והתרוממות הצעירים מהמיוקן ומשום כך מידת התרוממה של ההתקצרות לאורך ה- Restraining bend של טרנספורם ים המלח לאקסומציה של מבנה החרמון והמבנים הסמוכים אינה ברורה עדיין. עם זאת, נראה כי החתך המירבי שהוסר ב- 5 מ"ש האחרונות הוא כק"מ ולכן ניתן לשלול את האפשרות שכלל יצירת המבנה החלה רק בפליוקן. בהמשך המחקר יבחן פרופיל הדיפוזיה של ריכוזי ההליום בגבישי האפטיט שנדגמו בשיטת $^3\text{He}/^4\text{He}$ (Shuster & Farley, 2005) על מנת להגדיר בצורה טובה יותר את דפוס הקירור הרדוד ביותר (מתחת ל 30-40 מעלות).



איור 17: שחזור סכמאטי של מיקום מבנה החרמון לפני ההסטה לאורך טרנספורם ים המלח (Garfunkel, 1989). גילי קירור ממוצעים (במ"ש) בשיטת (U-Th)/He באפטיט מצויינים באדום.

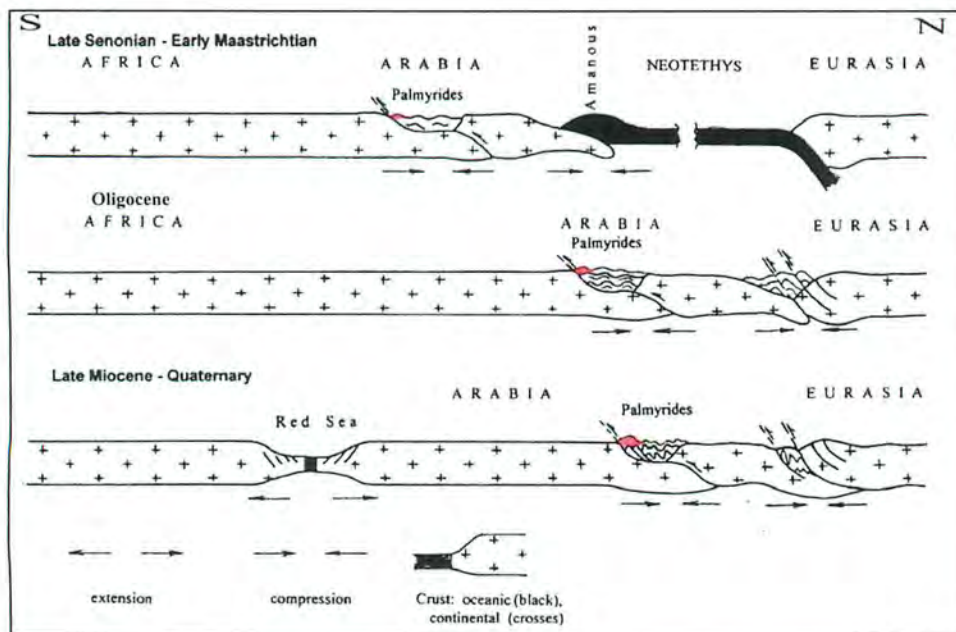
בטבלה הבאה מרוכזים ערכי טמפרטורה מירביים בהם שהו הדוגמאות ממרכז המבנה בהתאם לתוצאות המידול התרמאלי:

טבלה 2: פליאו-טמפרטורה מירבית בהן שהו דוגמאות ממרכז המבנה ע"פ המידול התרמאלי.

Time [My]	Temperature [°C]
5	30
10	35
15	45
20	55
25	75
90	100

דגם גילי הקרור מעיד עם כן, כי קימוט והרמה ראשונית של רכס החרמון החלו כבר בסוף הקרטיקון-תחילת הפליאוקן באסוציאציה עם ארוע הקימוט הראשון של הקשת הסורית הקשור כנראה לתחילת סגירת הניאאותטיס וההפחתה של הקרום האוקייאני. אקסומציה משמעותית שהחלה לפני כ-30 מיליון שנה קשורה לסיום סגירת הניאאותטיס ותחילת התנגשות הלוחות היבשתיים של ערב ואירואסיה, וקודמת לתחילת התנועה על הטרנספורם (איור 19). אי-התאמות בסדימנטים סינטקטוניים מהאוליגוקן-מיוקן (Chaimov et al., 1992; Brew et al., 2001) באזור הפלמירידים מצביעות גם הן על קימוט והרמה בתקופה זו. גילי קרור דומים (20-30 מ"ש), המתעדים את תחילת האורוגנזה בשוליים הצפוניים של הלוח הערבי, נמצאו באזור ההתכנסות בביטליס ובזגרוס (Mouthereau, 2011; Francois et al., 2014; Albino et al., 2014). בנוסף אינטגרציה חדשה של מודלים קינמטים של תנועת הלוחות עם הערכות התקצרות מצביעה גם היא על גיל התנגשות של 27~ מ"ש (McQuarrie & Hinsbergen, 2013) ותומכת בקשר אפשרי שבין ההתנגשות בשולי לוח ערב בצפון למעוות התוך-לוחי באזור החרמון והפלמירידים בזמן זה. התפתחות סטרוקטורלית דומה של אנטיקלינת החרמון ומבני הקימוט בפלמירידים החל מסוף הקרטיקון (איור 19), נתמכת על ידי מבנה גיאולוגי ומורפולוגי דומה ועדויות לזמן קימוט והרמה דומים. אולם, ההבדל בגובה הטופוגרפי המירבי, 2814 מ' בחרמון לעומת 1380 מ' בפלמירידים, ובמידת האירוזיה המירבית החושפת סלעים מגיל טריאס בחרמון לעומת סלעים מגיל אלביאן בפלמירידים, מצביע על תהליכים

נוספים שתרמו לבניית מבנה החרמון אך השפיעו בצורה פחותה על הרמת מבני הקימוט בפלמירידים. נראה כי הקירבה של מבנה החרמון לטרנספורם ים המלח הובילה להרמה גדולה יותר מאשר בפלמירידים בגלל התקצרות לאורך ה- Restraining bend החל מהמיוקן.



איור 18: קשר אפשרי בין ההתפתחות הטקטונית הרגיונלית בלבנט החל מסוף הקרטיקון לקימוט ואקסומציה של מבנה החרמון (Modified after Kazmin, 2002). מבנה החרמון מסומן באדום.

נראה כי העתקה במבנה החרמון ובשוליו קוטעת את רצף השכבות, משמשת כמנגנון הרמה משמעותי של המבנה בנוסף לקימוט, וגורמת להרמה דיפרנציאלית של בלוקים במבנה (דוגמת הר דב). העדויות שנמצאו להעתקה צעירה במבנה החרמון תואמות לפעילות צעירה (פלייסטוקן) המתוארת לאורך העתק הימונה בהרי הלבנון, העתק סרג'יה בהרי מול הלבנון ובחלקו הדרום מערבי של קמטי הפלמירידים (e.g., Daëron, 2005; Gomez et al., 2007; Abou Romieh et al., 2012).

מקורות

רשימת המקורות מופיעה בעותק הדיגיטלי של מדריך הסיור.

סיור מספר 4:**הוולקניזם של רמת דלתון****דב לויטה¹, שמעון אילני¹**

(1) המכון הגיאולוגי, מלכי ישראל, 30 ירושלים 95501

הקדמה

מחשופי בזלת ופירוקלסטים מכסים אזור נרחב ברמת דלתון וסביבתה ומשתרעים על פני כ- 30 קמ"ר. תשעה מרכזי התפרצות וולקנית זוהו באזור זה, וחמישה מהם מופיעים כחרוטים וולקניים בולטים לעין: שני חרוטים הבונים את הר דלתון, חרוט ריחניה ושני חרוטי הר יוחנן. תצפיות חדשות הביאו לגלוי ארבעה מרכזים נוספים: עמוקה, אדמון, יראון ונחל מרות.

גיל רדיוגני

מור וחובריו (1987) דברו בעל פה) תארכו שמונה דוגמאות סלעים וולקניים מאזור דלתון בשיטת אשלגן-ארגון ומצאו שגיל יחידת המיפוי 'בזלת דלתון' הוא פליוקן מאוחר (2.46-1.7 מליון שנה) וניתן להבחין בשתי פאזות וולקניות, הראשונה לפני כ- 2.4 מליון שנה והשנייה לפני 1.7 מליון שנה. לפאזה הקדומה משתייכים אתרי הר יוחנן, עמוקה, אביבים, יראון וגוש חלב ולפאזה הצעירה אתרי עלמה, דלתון דרומי וריחניה. יש לציין שהיימן (1990) קבע עבור מחשוף 'בזלת דלתון' בשוליים המערביים של עמק החולה גיל רדיוגני של 2.1-2.74 מליון שנה בשיטת אשלגן-ארגון.

הרכב כימי-פטרורגפי של הבזלות

עשרים דוגמאות סלע בזלתי טרי נאספו מששת השדות הוולקניים שתוארו לעיל ונמדדו בהן תכולות יסודות עיקריים ויסודות קורט. הסלעים הוגדרו לפי הקלסיפיקציה והנומנקלטורה הכימית של סלעים וולקניים הנסמכת על תכולת האלקלים ותכולת הסיליקה (Le Maitre et al., 1989 ; diagram TAS).

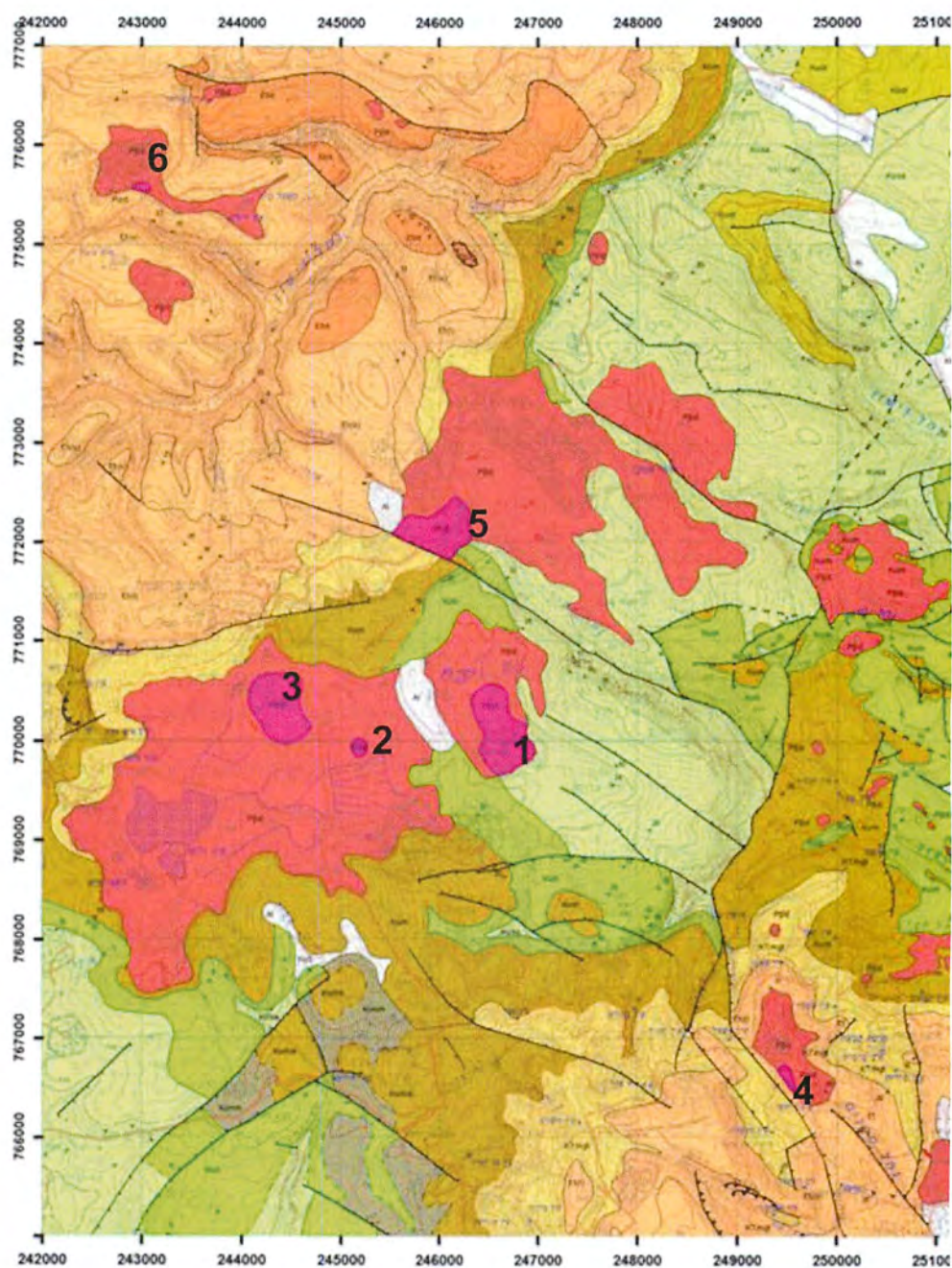
כל הדוגמאות שנבדקו הן בזיטיים, למעט דוגמא אחת ממרכז ההתפרצות ריחניה שהרכבה בזלתי. הדוגמאות שנבדקו מסומנות על גבי הדיאגרמה באיור 1.



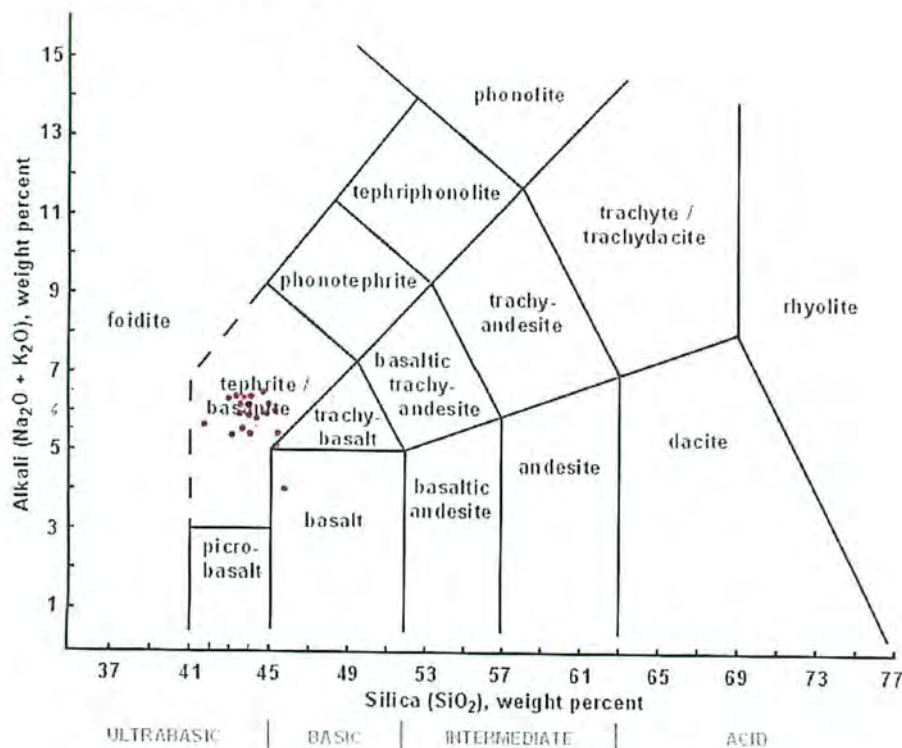
STRATIGRAPHY סטרטיגרפיה

SYMBOL סימן	MAPPING UNITS יחידות מיפוי
Al	Alluvium, colluvium, soil אלוויום, קולווייום, קרקע
Pds	Dalton Scoria & Tuff סקוריה וטוף דלתון
Pbd	Dalton Basalt בזלת דלתון
Ebk	Bar Kokhba Formation תצורת בר כוכבא
Et(u)	Timrat Formation Upper Member תצורת תמרת פרט עליון
Et(l)	Timrat Formation Lower Member תצורת תמרת פרט תחתון
KTmgt	Mishash (chalk), Ghareb & Taqiye fms. תצ. מישאש (קרטון), עירב וטקיה
Kuez	En Zetim Formation תצורת עין זיתים
Kub	Bina Formation תצורת בענה
Kuy	Yirka Formation תצורת ירכא
Kuy	Yanuh Formation תצ. ינוח
Kusa	Sakhnin Formation תצורת סחנין
Kudr	Deir Hanna Formation Roah Haniqra & Ya'ara members תצורת דיר חנא פרט ראש הנקרה ופרט יערה
Kudk	Deir Hanna Formation Karkara Member תצורת דיר חנא פרט כרכרה
Klkam	Kamon Dolomite (Yagur Formation) דולומיט כמון (=תצורת יגור)
Klir	Rama Formations (incl. Zalmon Fm.) תצורת רמה (כולל תצורת צלמון)
Kli	Hidra Formation (incl. Asfuri Fm.) תצורת הידרה (כולל תצורת אספרי)
Klei	Ein El Assad Fm. תצורת עין אל אסד
Kin	Nabi Sa'id Fm. תצורת נבי סעיד

מפה גיאולוגית של תפוצת מחשופי בזלת דלתון עם סימון תחנות הסיור (גליון ראש פינה IV-2: 2013; גליון צפת III-2: לויטה וסנה, 2006; גליון צפת III-2: לויטה וסנה, 2013).



VOLCANIC ROCK TYPES



איור 1 – דיאגרמת TAS (Le Maitre et al., 1989).

בדיקת שקפי סלע מרמת דלתון במיקרוסקופ פטרוגרפי מציגה הרכב אוליבין בזלתי עם פנוקריסטים רבים של אוליבין ופירוקסון ופלדספרים רבים במטריקס. לפעמים נצפו טקסטורות זרימה. בדוגמאות סלעים פירוקלסטיים נמצאה, כצפוי, זכוכית וולקנית נפוצה וכן שברי פנוקריסטים של אוליבין, פירוקסון ופלדספר המעידים על פעילות אפוזיבית.

תחנה 1: הר דלתון

השדה הוולקני של הר דלתון נמצא בנצ.מ. 2466/7705, שטחו כ- 1.3 קמ"ר. קרוב לוודאי שהשדה נוצר על ידי שני מרכזי התפרצות המופיעים כשתי גבעות מעוגלות צמודות.

הגבעה הדרומית מצויה בנ.צ. 2468/7700 והצפונית בנ.צ. 2466/7704 (ראה להלן). בשטח זה חשופים זרמים בזלתיים בעובי מצטבר של כעשרים מ'. הזרמים מונחים באי-התאמה זויתית על גבי סלעי גיר מתצורת בענה וסלעי דולומיט מתצורת סכנין. הזרמים נשפכו בעיקר לכיוון צפון-מערב וצפון-מזרח, כאשר לכיוון מערב הם נעצרו בשוליים המזרחיים של שקע מורפולוגי שכיוונו העיקרי הוא צפון-מערב – דרום-מזרח, והמפריד בין השדה הוולקני של הר דלתון ממזרח לבין השדה הוולקני רמת דלתון שממערב לו. לא נמצאה ראייה בשטח כי השקע הוא בקע טקטוני ("גרבן"). שני מרכזי ההתפרצות הנ"ל בנויים בעיקר מסלעים פירוקלסטיים ואגלומרט וולקני (איור 2).



איור 2 – שני מרכזי ההתפרצות הבונים את השדה הוולקני "הר דלתון".

הגבעות סמוכות זו לזו ויוצרות רכס שכיוונו צפון-מערב – דרום-מזרח, שהוא הכיוון השולט של כלל מרכזי ההתפרצות הנדונים. הגבעה הדרומית הקרויה במפה – הר דלתון היא גבעה אובלית הנישאת כחמישים מ' מעל הזרמים הבזלתיים וגובה פסגתה 874 מ'. בראשה נמצא קברו המיוחס לר' יוסי הגלילי. שכבות הסלעים הפירוקלסטיים נטויות דרומה. הגבעה הצפונית המכונה להלן "הר דלתון צפון", גם היא גבעה אובלית, בממדים דומים להר דלתון (דרום), הנישאת כארבעים מ' מעל הזרמים הבזלתיים ופסגתה בגובה 860 מ'. נטיית שכבות הסלעים הפירוקלסטיים

היא בעיקר לצפון ולדרום-מערב. בין שתי הגבעות מפריד אוכף צר שרוחבו כמאה מ', הנמוך בעשרים עד שלושים מ' מהפסגות. נראה שהגבעות הפירוקלסטיות מאוחרות לזרמי הבזלת שמתחתן. ניתן לשער שמקור הבזלות הוא באותם מרכזי התפרצות שמהם פרצו מאוחר יותר הסלעים הפירוקלסטיים.



איור 3- מגע בין סלעים פירוקלסטיים ואגלומרט (משמאל) לבין זרם בזלת (מימין).

תחנה 2: רמת אדמון

מרכז ההתפרצות - "אדמון"

מרכז ההתפרצות אדמון מצוי בחלקו הדרומי של פארק התעשייה רמת דלתון בנ. צ. 245200/77000. למרכז התפרצות זה אין ביטוי מורפולוגי בולט בנוף. הפירוקלסטים והאגלומרט המציניים את נוכחותו, מכוסים בזרמי בזלת שעוביים הכולל עד כעשרה מ'. החתך הפירוקלסטי מכיל גושי בזלת וסקוריה בגודל 60 ס"מ ויותר, רואים זאת בברור בקיר החצוב שפניו צפונה, בנ.צ. 245240/769940, דבר המצביע על קירבה למרכז ההתפרצות.



איור 4 - החתך הפירוקלסטי מכיל גושי בזלת וסקוריה בגודל 60 ס"מ ויותר.

בקיר החצוב של מתקן הטיהור מדרום למפעל, בנ.צ. 245200/769800 מצוי דייק או זרם בזלת שעוביו אחד עד שני מ' החוצה, או מונח בתוך החתך הפירוקלסטי ונוטה כ- 30 מעלות למזרח.

זרם בזלת מסיבי וצפוף שעוביו כששה מ' ויותר מצוי לטרלית למחשוף הסלעים הפירוקלסטים וזורם לכיוון מזרח מספר מאות מ' עד שהוא נעצר בחלקו המערבי של השקע המורפולוגי בנ.צ. 2458/77000, המפריד בין השדה הוולקני של הר דלתון לשדה הוולקני של רמת דלתון.

תחנה 3. הר יוחנן והר יוחנן זוטא

מרכז ההתפרצות - הר יוחנן

מרכז ההתפרצות הר יוחנן מצוי בחלקו הצפוני של השדה הבזלתי רמת דלתון בנ.צ. 244300/770400. להר צורה חרוטית פחוטה אובלית כאשר ציר האורך הוא בכיוון מזרח-מערב והוא מתנשא לגובה 885 מ' מעל פני הים (איור 5).



איור 5 - מרכז ההתפרצות הר יוחנן.

ההר מתנשא כחמישים מ' מעל רמת דלתון והוא ההר הוולקני הגבוה שבין מרכזי ההתפרצות של יחידת המיפוי בזלת דלתון. בראש הכיפה בנויות ארבע בריכות אגירה. ההר בנוי בעיקרו מסלעים פירוקלסטיים הבולטים בצבעם הכתום במורדות הדרומיים של ההר. נראה שצורתו החרוטית של המבנה הפירוקלסטי מעידה על התפרצותו המאוחרת יחסית להתפרצות זרמי הבזלת הבונים את רמת דלתון. זרמי הבזלת שנבעו ממרכז ההתפרצות של הר יוחנן הגיעו למרחק של כ- 3.5 ק"מ עד למקומם הנוכחי של הישובים גוש חלב ממערב, וספסופה ואור הגנוז מדרום-מערב. זרמי הבזלת שעוביים הכולל הוא עד כעשרים מ', זרמו על פני רמה מישורית שנטויה לכיוון דרום-מערב ושעונה על העתק מירון. מכאן ניתן להסיק שהעתק מירון הגובל בהר מירון ממזרחו, החל לפעול לפני פריצת זרמי הבזלת שנבעו מהר יוחנן. למעשה הבזלות שנבעו מהר יוחנן זרמו אך מס' מאות מטרים צפונה לכיוון המושב כרם-בן-זמרה וכקילומטר מזרחה לכיוון השקע המפריד בין השדה הוולקני של רמת דלתון לשדה הוולקני של הר דלתון שממזרח (שהוא כאמור לעיל, עמק מורפולוגי ולא טקטוני).

בקירות החצובים שלרגלי הבריכות נחשף מגע לתרלי בין בזלת אוליבינית קשה צפופה עם סידוק אנכי בולט (Neck? ראה איור 6) לבין פירוקלסטים הבנויים גושי

סקוריה זוייתיים לא ממוינים מלכדים היטב בתוך טוף (איור 7) והמכילים מעט גושי צור איאוקני זוייתיים. לחלק מגושי הסקוריה צורה אובלית בגודל על 60 ס"מ ועל פניהם בליה בצלית (exfoliation).



איור 6- בזלת אוליבינית קשה צפופה עם סידוק אנכי בולט.

מרכז ההתפרצות - הר יוחנן זוטא

כ- 400 מ' מדרום-מזרח להר יוחנן בנ.צ. 244400/770120 מתנשאת גבעה אובלית מאורכת בכיוון מזרח-מערב במקביל להר יוחנן הבולטת כשלושים מ' מעל סביבותיה. בינה לבין הר יוחנן מצוי אוקף שרוחבו כמאה מ'. הגבעה בנויה בעיקר מסלעים פירוקלסטיים הכוללים גושי סקוריה זוייתיים לא ממוינים בגודל 1 עד ארבעים ס"מ, מלכדים היטב בתוך טוף כתום (איור 7א).

בנ.צ. 244395/769968 מצוי במדרון הדרומי של הגבעה מצוי קיר חצוב והמורכב מסלעים פירוקלסטיים. בראש הגבעה וכן במורד המערבי שלה מופיעים מחשופים של בזלת בנ.צ. 244350/770140.



איור 7- מגע בין בזלת אוליבינית קשה צפופה (מימין) לבין פירוקלסטים הבנויים גושי סקוריה זויתיים לא ממוינים מלוכדים היטב בתוך טוף



איור 7א - סלעים פירוקלסטיים הכוללים גושי סקוריה זויתיים לא ממוינים בגודל 1 עד ארבעים ס"מ, מלוכדים היטב בתוך טוף כתום.

תחנה 4. עמוקה

השדה הוולקני – עמוקה

השדה הוולקני של עמוקה נמצא בנ.צ.מ. 2494/7670 ומשתרע על שטח של כ- 0.5 קמ"ר במפת צפת (1: 50,000) (לויטה, 2001). במפת ראש פינה (סנה ווינברגר, 2006) שממזרח למפת צפת מסומנים זרמי בזלת בשטח של כשני קמ"ר, אשר זרמו אל בקע הירדן בתוואי של נחל מחניים ונחל קבעת הקדומים. עקב היות הבזלת סלע קשה יחסית לסלעים הסדימנטריים של חבורת יהודה וחבורת הר הצופים, הזרמים הקדומים יחסית שרדו בגב השלוחות ובכך הם משמרים את תוואי הערוצים הקדומים שהיו בזמן ההתפרצות. מערכת הערוצים הנוכחית נוצרה לאחר היווצרות זרמי הלבנה.

במהלך עבודת השדה נתגלה מדרום ליישוב עמוקה (נ.צ. 249500/766600) שקע מורפולוגי בקוטר כמאה מ', פתוח לכיוון דרום-מזרח, שבו נחשפו סלעים פירוקלסטים ופצצות וולקניות בגדלים שונים (איור 8). החתך הפירוקלסטי מכוסה בזרם בזלתי המונח על כתפי השקע ושומר מבחינה מורפולוגית על המבנה הטבעתי של התופעה. כתפי השקע מצויים בגובה טופוגרפי של 705 מ' מעל פני הים. חלקו המערבי של השקע תחום על ידי העתק נחל חצור שהוא העתק נורמלי גדול בעל העתקה אנכית מוערכת של כמאה מ'. ההעתק מוריד את צידו המזרחי ומציב את תצורות עירב וטקיה ממערבו מול סלעי גיר מתצורת בר-כוכבא מגיל איאוקן ממזרחו. העתק גדול זה ממשיך לצפון-מערב וגובל במרכז ההתפרצות הוולקנית של ריחניה בנ.צ. 246/772.

מרכז התפרצות זה נתגלה במהלך המחקר הנוכחי ולא היה ידוע קודם. הר געש זה יצר את השדה הבזלתי של עמוקה ששטחו החשוף הוא כחמש מאות דונם. על פי תפוצה ומתאר מחשופי הבזלת בסביבת מרכז ההתפרצות, ניתן להניח ששלושה זרמי בזלת נבעו ממנו ונשפכו לתוך מערכת ניקוז קדומה: הזרם הדרומי פונה לדרום-מזרח, לעבר חצור הגלילית, והזרם המרכזי מצוי על רכס שכיוונו מערב-מזרח, בין נחל קבעת מדרומו לבין נחל חסף מצפונו (נ.צ. 2515/7670). שני מחשופי בזלת קטנים מצפון למרכז ההתפרצות של עמוקה, האחד בנ.צ. 24935/76810 והשני בנ.צ. 24985/76925, מרמזים על זרימה של הלבנה לכיוון צפון ובהמשך שינוי של כיוון הזרימה לדרום-מזרח. כיום מחשופי הבזלת של זרם זה מצויים על הרכס שבגדה הצפונית של נחל חצור, אולם קיימת אפשרות שמחשופי הבזלת האלה שבגדה

הצפונית של נחל חצור, מקורם במרכז ההתפרצות של עלמה ריחניה (ראה להלן), שכן כיוון זרימתם של הלבנות משדה זה הוא לדרום-מזרח. הזרמים נמשכים לאורך כשלושה קילומטרים מזרחה ממרכז ההתפרצות וללא ספק הם הושפעו מקיומו של בקע הירדן בעת ההתפרצות הוולקנית. מחשופי הזרמים הבזלתיים המצויים בנחל מחנים, נחל אשף, נחל חצור תחתון ונחל מכברם (כולם ממזרח למחשופי מרכז ההתפרצות עמוקה), נבעו ככל הנראה ממקורות התפרצות שממערב להם.



איור 8- סלעים פירוקלסטיים, הכוללים גושי סקוריה זוייתיים ופצצות וולקניות בגודל עד כ-30 ס"מ.

על פי המפה הגיאולוגית של צפת (לויטה, 2001) השדה הבזלתי של עמוקה מסומן כשייך לבזלת דלתון והוא מונח כולו על סלעי גיר מתצורת בר-כוכבא מגיל איאוקן. לשדה צורה מאורכת אובלית בכיוון כללי צפון-מערב – דרום-מזרח. בזלת עמוקה לא נדגמה לבדיקת גיל רדיומטרי בעבר.

שתי דוגמאות בזלת נדגמו מהזרם המקיף כטבעת את חלקו העליון של השקע המורפולוגי שמדרום לישוב עמוקה: דוגמא מספר SI/14/09 נדגמה בנ.צ. 249500/766600 מזרם בזלתי טרי, מאד נקבובי, בהרכב אוליבין-בזלת, בעובי

כשלושה מ' המכסה את שוליו הצפוניים של השקע המורפולוגי, ונמצא במגע אופקי חד עם סלעים פירוקלסטיים, הכוללים גושי סקוריה זויטיים ופצצות וולקניות בגודל עד כשלושים ס"מ. דוגמא מס' SI/18/10 נדגמה בנ.צ. 249556/766630 מזרם בזלת טרי המכסה את שוליו המזרחיים של השקע המורפולוגי ועוביו יותר מ- 5 מ'. מעל הזרם הזה ומצפון לדרך הכבושה בתחומי חוות הסוסים (נ.צ. 2484/7668), נחצב קיר כדי ליצור טרסה אופקית לגדרת הסוסים. בקיר זה חשופים סלעים פירוקלסטיים, גושי סקוריה זויטיים המלוכדים היטב בטוף בצבע כתום.



איור 9 - זרם בזלת מכוסה בטוף מלוכד בצבע כתום-צהבהב ובו גושים זויטיים של סקוריה אדומה ושחורה.

דוגמא מס' SI/3/10 נדגמה בחלקו הדרומי-מזרחי של השדה הוולקני של עמוקה, בנ.צ. 249895/766375 בגובה טופוגרפי של 650 מ', מזרם בזלתי מאד טרי של אוליבין-בזלת צפוף שעוביו החשוף כמטר אחד. הדוגמא נאספה בשולים הצפוניים של הכביש שהוא חלק ממדרכה הנוף החדשה המקשרת את עין מרגנית (נ.צ. 2493/7661) עם חצור הגלילית במזרח, כקילומטר מדרום לשוב עמוקה במערב. זרם הבזלת שאורכו החשוף הוא כעשרה מטרים, מכוסה בטוף מלוכד בצבע כתום-צהבהב ובו גושים זויטיים של סקוריה אדומה ושחורה (איור 9).

העובי החשוף של הפירוקלסטים הוא כחמישה מ' והם רבודים על חוואר וקירטון מסיבי של תצורת טקיה שעל פי הגדרת מאובנים, גילו פליאוקן עליון. מעל הסלעים הפירוקלסטים מונחים זרמים בזליים שעוביים המדומה על פני המדרון הדרום-מזרחי של השדה הבזלתי של עמוקה הוא כחמישים מ' (איור 10).



איור 10 – זרמי בזלת מונחים מעל סלעים פירוקלסטיים.

תצפיות השדה מראות שהעובי הכולל של הזרמים הבזלתיים הולך וקטן כלפי צפון ובקצהו הצפוני של השדה הבזלתי, העובי הוא כחמישה מ' בלבד. להמשך המחקר מומלץ לבצע סקר גיאופיסי באתר השקע המורפולוגי על מנת לאתר את מקומו של צינור ההזנה הוולקני.

מחשוף בזלתי קטן ששטחו כעשרה דונם נמצא כקילומטר מצפון לשוב עמוקה בנצ. 249470/768130. באתר חשוף זרם של אוליבין-בזלת קשה שחורה וצפופה בעובי כשני מ'. הזרם הבזלתי הזה מצוי בפסגת הגבעה ושומר מבחינה מורפולוגית על הכיפה. גובה המחשוף הוא 592 מ', נמוך כ- 110 מ' מקצהו הצפוני של השדה הבזלתי של עמוקה. הזרם הבזלתי מונח על קירטון מסיבי של תצורת ע'רב. נראה שמוצאו ממרכז ההתפרצות של עמוקה כ- 1500 מ' מדרומו. המחשוף עשוי להצביע על כוון זרימת הבזלת לעבר נחל קבעת ו/או נחל דלתון הקדומים אשר התנקזו מזרחה לעבר בקע הירדן.

תחנה 5. ריחניה

השדה הוולקני - ריחניה-עלמה

מרכז ההתפרצות הוולקנית של ריחניה-עלמה, להלן הר ריחניה, נמצא בנצ. 246/772. ההר גובל בדרום-מערב בהעתק נחל חצור שכיוונו צפון-מערב – דרום-מזרח, המוריד את הגוש שממזרח לו. זהו אותו העתק שמרכז ההתפרצות הוולקנית של עמוקה גובל בו. למרכז ההתפרצות יש מבנה חרוטי הנחתך בדרומו על ידי העתק. שיאו של החרוט הוא ליד קו העתק ברום של 770 מ'. במורד ההר הפונה צפונה לעבר הכפר ריחניה קיים שקע מורפולוגי בצורת אמפיתיאטרון הפתוח כלפי צפון. הנחת השדה הראשונית היתה שיתכן שזאת קלדרה שנשתמר ממנה רק חלקה הדרומי. בבדיקה שערכנו בשטח בחלקו הנמוך של המדרון בדרום הכפר ריחניה, לא נמצאו עדויות לקיומו של מרכז התפרצות בחלק זה של ההר.

שפכי הבזלת הנובעים ממרכז זה זורמים מזרחה לעבר בקע הירדן ומכסים שטח של יותר מ- 8 קמ"ר בתחומי גיליונות צפת וראש פינה (1: 50,000). מכאן נובע שמרכז ההתפרצות של הר ריחניה פעל כאשר בקע הירדן כבר היה קיים במזרח. זרמי הבזלת מונחים על גבי סלעים מחבורות יהודה, הר הצופים ועבדת. זרמי הבזלת מונחים על גבי שלוחות הנוטות מזרחה ואינם קיימים בערוצים הנוכחיים של נחל

חצור, נחל מרות ונחל קציון המתנקזים צפונה וחוברים לנחל דישון שזורם מצפון להם. כיוון זה מוכתב כנראה על ידי ההשתפלות של בקע הירדן בעמק החולה.

הכביש מכרם-בן-זמרה לריחניה חוצה חתך סלעים פירוקלסטיים המורכבים מגושי סקוריה לא ממוינים בגודל עד 1 מ', מלוכדים היטב בטוף כתום (איור 11).



איור 11 - סלעים פירוקלסטיים הבנויים גושי סקוריה לא ממוינים בגודל עד 1 מ', מלוכדים היטב בטוף כתום.

סמוך לקו ההעתק בנצ. 245800/772000 הסלעים הפירוקלסטיים משוכבים היטב ובקיר חציבת הכביש מובחנת נטייה לדרום מערב לעבר ההעתק. לעומת זאת, במחצבה העזובה שבנצ. 246190/772300, בחלקו המזרחי של ההר, הנטיות הן לצפון. יתכן והנטיות שבכיוונים מנוגדים מרמזות על מרכז התפרצות שביניהן. בקיר חצוב שכיוונו צפון-דרום בנצ. 246210/772230 חשופים סלעים פירוקלסטיים המכילים גושי סקוריה זוויתיים ולא ממוינים בגודל עד 40 ס"מ. הפירוקלסטים כאן משוכבים היטב ונוטים צפונה. השאלה המתבקשת, היא האם הנטיות הן נטיות מקוריות של ההתפרצות הגעשית, או שקיימת הטייה מאוחרת עקב פעולתו של העתק נחל חצור המוריד את הצד הצפוני-מזרחי, בו מצוי הר ריחניה.

החתך בחלקו הדרום-מזרחי של הר ריחניה מקו ההעתק וצפונה הוא כלהלן:
 1. בבסיס החתך חשופים זרמי בזלת טריה מסיבית בעובי כולל של כשלושים מ'.
 במקום זה, בחלק העליון של זרמי הבזלת, בנצ. 246281/772058 נדגמה דוגמא מס' SI/10/10. הדוגמא מורכבת מאוליבין בזלת. גבישי האוליבין הוחלפו כמעט לחלוטין לאידינגזיט. הפלגיוקלז הוא אנדזין ללא טכסטורה זרימתית. 2. מעל הזרם הבזלתי רבודים סלעים פירוקלסטיים המכילים גושי סקוריה זוויתיים לא ממוינים בגודל עד 1 מ' וכן גושי צור וגיר איאוקני זוויתיים לא ממוינים בגודל עד 20 ס"מ (איור 12).

הנטייה הכללית של הבזלת והפירוקלסטים היא לצפון (כ- 10 מעלות). היות שהסלעים הפירוקלסטיים מכילים סלעי סביבה, נראה שהם שייכים לשלבים הראשונים של ההתפרצות הוולקנית. לפיכך, דוגמא מהבזלת שמתחתם תצביע על גיל של ראשית ההתפרצות.



איור 12 - סלעים פירוקלסטיים המכילים גושי סקוריה זוויתיים לא ממוינים בגודל עד 1 מ' וכן גושי צור וגיר איאוקני זוויתיים לא ממוינים בגודל עד 20 ס"מ.

דוגמת בזלת שמספרה SI/11/2010 נדגמה ב.צ. 246330/772010, סמוך לקו ההעתק. מייצגת זרם בזלת עם סידוק שכבתי הנוטה לצפון-מזרח.



איור 13 – מגע בין סלעים פירוקלסטיים (מימין) לבין זרם בזלת (משמאל).

זרם זה נובע כפי הנראה מהמורד המזרחי של ההר. הרכב הדוגמא הוא אוליבין-בזלתי. הפלגיוקלז, בהרכב אנדזין מופיע כמאסה מאד דקה בגבישים שגודלם עד 0.2 מ"מ.

תחנה 6. יראון

השדה הוולקני – יראון

מחשופי הבזלת של שדה יראון פרוסים על גבי רמת יראון ורמת ברעם ומכסים שטח של כקילומטר רבוע. מרכז השדה מצוי בנ.צ. 2440/7755. זרמי הבזלת (איור 14) מונחים על גבי שכבות גיר מתצורת בר כוכבא מגיל איאוקן תיכון.



איור 14 – זרם בזלת ממזרח לקיבוץ יראון.

מרכז ההתפרצות מצוי בנ.צ. 2430/7756 ומכיל סלעים פירוקלסטיים הכוללים גושי סקוריה זויטיים במיון גרוע בגודל עד 30 ס"מ, מלוכדים היטב במטריכס של טוף (איור 15). מרכז ההתפרצות מצוי ברום של כ- 690 מ'. ואינו יוצר מבנה בולט בנוף. ממרכז זה נבעו זרמי בזלת בעובי 5 עד 20 מ' אשר זרמו בעיקר לכיוון מזרח, לעבר בקע הירדן.



איור 15 – מגע בין סלעים פירוקלסטיים (מימין) לזרם בזלת (משמאל). הסלעים הפירוקלסטיים כוללים גושי סקוריה זייתיים במיון גרוע בגודל עד 30 ס"מ, מלוכדים היטב במטריכס של טוף.

זרמי בזלת התקדמו גם לכיוון דרום, למרחק של כקילומטר לעבר רמת ברעם, שם מצוי מחשוף בזלת בגב הרמה (חוות מתתיהו) ברום 688 מ'. בשוליים המערביים של מרכז ההתפרצות של יראון נדגמה דוגמת בזלת טריה וצפופה מזרם של אוליבין-אידינגזיט בזלת, דוגמא מס' Si/14/2010 ב.צ. 243073/775510. יתכן שזרם הבזלת המחפה כיום את גב השלוחה הקרויה "רמת יראון", שעוביו 5 עד 15 מ' וכיוונו מזרח-מערב וכן מחשוף הבזלת ב.צ. 2476/7750 מרמזים על מקומו של התוואי הקדום של נחל דיסון, בן זמנו של הוולקניזם של יראון.

כמו כן אפשרי שרצועת שלושת מחשופי הבזלת שבכתף הצפונית של נחל אביב, שכיוונום מזרח-מערב, מרמזים על מקומו של נחל אביב הקדום, תוואי הנתמך על ידי קו העתק מזרח-מערב המוריד את הגוש שמדרומו.

תחנה 7. נחל מרות

השדה הוולקני – נחל מרות

השדה הוולקני המכונה כאן "נחל מרות" שמרכזו מצוי בנ.צ. 251500/771500 ושטחו כ- 1 קמ"ר. בשטח זה חשופים סלעים פירוקלסטיים, אגלומרט וולקני ובזלות. התופעות הוולקניות של שדה זה קשורות כפי הנראה להעתק המערבי של בקע הירדן. עובי הבזלת הכולל במחשופים הוא עד כעשרים מ'. הזרמים מונחים על גבי סלעי תצורות סכנין ובעינה מחבורת יהודה.



איור 16 - מרכז התפרצות וולקני "plug" החודר לתוך סלעי תצורת בעינה.

בנ.צ. 201395/771520 מצוי "פלג" בהרכב בזלת אוליבינית במתאר אובלי (במבט על) בקוטר כ- 80 מ' (איור 16). הבזלת חודרת את סלעי הגיר של תצורת בעינה ומאזור המגע, עד כשני מ' מסלעי הבזלת הגיר עבר אלטרציה הדרגתית לדולומיט, מסלע גיר לגיר דולומיטי ועד לסלע דולומיט. לסלעים הדולומיטיים יש הופעה מסיבית בשונה לשיכוב האופייני לסלעי הגיר של התצורה. אפופיזה של מחדר בזלתי (דייק?) ברוחב

של כ- 40 מ', חודרת לתוך סלעי הגיר מתצורת בעינה, ונמשכת מערבה מ"פלג" זה כ- 100 מ'. זרמי בזלת מכסים את הרמה שמצפון לנחל מרות בנצ. מרכזי 200500/771700 ויוצרים שדה בזלתי רציף. במערבו של השדה, בנצ.מ. 200100/771300 ובדרומו, בגדה הצפונית של נחל מרות בנצ.מ. 201000/771200 חשופים אגלומרטים ופירוקלסטים.

רשימת ספרות מצוטטת

- גליקסון (1964). הגיאולוגיה של אזור נחל דישון. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים. 52 ע'.
- היימן, א. (1990). התפתחות בקע ים המלח ושוליו בצפון ישראל בפליקון ובפלייסטוקן. עבודת דוקטורט, האוניברסיטה העברית, ירושלים. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/28/90, 82 ע'.
- לויטה, ד. (2001). מפה גיאולוגית של ישראל, 1: 50,000, צפת, גיליון 2-III. המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- לויטה, ד., סנה, ע. (2013). מפה גיאולוגית של ישראל, 1: 50,000, צפת, גיליון 2-III. המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- סנה, ע., ווינברגר, ר. (2006). מפה גיאולוגית של ישראל, 1: 50,000, ראש פינה, גיליון 2-IV. המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- שליין (1961). הגיאולוגיה של איזור עלמה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים. 49 ע'.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabie, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zauettin, B. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell Scientific Publ., London, 193 p.
- Mor, D., Levitte, D., Steinitz, G., Lang, B. (1987) The Volcanic History of Ramat Dalton, Galilee, According to K-Ar Dating. Mee Annu. Soc. Geol. Isr. 93-94 pp. Abstr.

סיור מספר 5:**הגיאולוגיה של הרי אביטל ובנטל וגאוארכיאולוגיה ברמת הגולן****דורון מור¹ וחיים בן דויד²**

(1) קיבוץ מרחביה

(2) המכללה האקדמית כנרת

חלק א': סיור ארכיאולוגי בהיבט גיאולוגי מרחבי**בהדרכתו של חיים בן דויד****תחנה: בית הכנסת באם אל קנאטר****מבוא**

בית הכנסת באום-אל-קנאטר מצוי בתוך חורבת כפר סורי, כשלושים מ' מתחת לקצה המצוק של רמת הגולן לכיוון נחל סמק וכ-2 ק"מ מדרום-מערב למושב נטור. שמו הערבי של המקום, שפירושו "אם הקשתות", מקורו ככל הנראה במבנה מעיין מונומנטלי המצוי כ-200 מ' מדרום לחורבת בית הכנסת.

**איור 1: בית הכנסת באם אל קנאטר (צילום: יהושע דריי)**

בשנת 1884 סייר לורנס אולפנט בגולן וגילה את בית הכנסת. בעקבות דיווחו של אולפנט הגיעו לאתר בשנת 1905 החוקרים הגרמנים קוהל ווצינגר. הם תיעדו עשרות פריטים, חשפו חלק מהקירות ופרסומו תוכנית והצעת שחזור של בית הכנסת. תמונת המצב המרשימה של מאות אבני הבניין המקוריות במפולתן כמעט ולא נשתנתה מימי החוקרים הראשונים. בניגוד לאתרי בתי כנסת רבים בארץ ואף בגולן החורבה לא הייתה מיושבת במאות השנים האחרונות והכפר הסורי הוקם במקום רק במהלך המאה העשרים אחרי ביקורם של קוהל ווצינגר. הכפר הסורי היה מנותק מכל דרך ורק ב-1964 במהלך העבודות על תוואי ההטיה הסורי שעברו למרגלות האתר הגיעה אליו דרך עפר.

ההיבט הטכנולוגי של החפירה באם אל קנאטר

חשיבותו של התיעוד המדויק לצרכי מחקר ושיחזור מחייב שימוש בטכנולוגיות מתקדמות ביותר, בייחוד כאשר השאיפה היא לשחזר את המבנה בשלמותו. כל האתר עובר מיפוי תלת מימדי ברזולוציה גבוהה באמצעות סורק בקרני לייזר, המאפשר קבלת גבהים, תנוחת כל אבן במפולת ומיקומה האפשרי בשיחזור. המידות המתקבלות הן תלת מימדיות עם תאימות מלאה לתוכנת אדריכלים. המיפוי התלת מימדי תופס את מקומה של המדידה הקונבנציונלית בחפירות ארכיאולוגיות, והדמיית המחשב המודפסת משמשת כדפי העבודה בשטח. יתרונות המיפוי בשיטה זו הם דיוק ואובייקטיביות ללא פרשנות אנושית של המודד, האפשרות לעמוד על אי-דיוקים וסטיות קונסטרוקטיביות במבנה בלי בדיקות חודרניות בשטח והאפשרות לקבל חיתוכים וחתיכים, ללא הגבלה, של כל פריט לגופו.

הנתונים של כל פריט ארכיטקטוני מוזנים אל תוך מסד נתונים תוך יצירת "תעודת זהות" של כל פריט הכוללת את מידותיו, סוגו, כיוון נפילתו, מקומו במפולת ועוד. הפריטים מסומנים באמצעות השתלת שבבים אלקטרוניים זעירים, בגודל של 3×10 מ"מ ולכל אחד מספר ייחודי המקושר למסד הנתונים של החפירה, כך שהעברת הקורא על הפריט שולפת את "תעודת הזהות" שלו ולעיתים אפילו את מקומו המיועד במבנה. כך מובטחים הסימון לטווח ארוך, אבטחת המידע והנגישות אליו ישירות מן הממצא בשטח. לצורך החפירה הארכיאולוגית נכתבה על ידי אילנה גונן תוכנת עיבוד נתונים המאפשרת טיפול נאות ומהיר בכל המידע המצטבר ובממצאי החפירה.

אבני המפולת מוצאות ממקומן ומועברות לאתר האיחסון בעזרת עגורן שער ענק המכסה את שטח החורבה ואת שטח האיחסון ומאפשר טיפול בפריטים הכבדים בקלות מדהימה. העגורן, אשר גובהו 14 מ' ומרווח רגליו 24 מ', הותאם לתנאי השטח ונע על גבי מסילות באורך של 72 מ' בעזרת מנועים חשמליים. לעגורן כננת אליה נקשרים הפריטים הארכיטקטוניים ברצועה ונשלפים אחד אחד בלא פגע ומבלי לפגוע בפריטים השכנים.

אמצעים אלה מצעידים את המחקר הארכיאולוגי בארץ ישראל לתוך המאה ה-21 תוך שימוש בטכנולוגיות חדשות ואמצעי שינוע מתאימים. יתרונם הגדול הוא בהוזלת העלות, קיצור זמן הביצוע והאפשרות לעבודה מדויקת ועדינה ביותר באתר בעל רגישות גבוהה כשכל רסיס מידע הנאסף תוך כדי ביצוע יסייע בשיקום העתידי.

צוות החפירה הכולל את יהושע דריי, אילנה גונן וחיים בן דוד דוגל בשיתוף הקהילה בגולן וכלל הציבור בארץ ומדווח באופן שוטף על התקדמות החפירה הארכיאולוגית וממצאיה באמצעות אתר אינטרנט שכתובתו www.yeshuat.com.

ממצאי החפירה

מבנה בית הכנסת מתוארך על סמך אלפי מטבעות שנמצאו מתחת לרצפה למאה הששית לסה"נ. כ- 70 ס"מ מתחת לרצפת בית הכנסת נחשפו שרידיו של מבנה קדום. השרידים כוללים טור עמודים, ריצוף אבן וקיר דרומי. על פי הממצאים הקראמיים שנתגלו מתחת לריצוף של המבנה הקדום אנו מתארכים אותו למאה השלישית לספירה. תוכניתו, וטיבו של המבנה הקדום טרם הובהרו. בית הכנסת נבנה כמבנה בסילקה במידות 18.80 X 13.80 מ'. והתנוסס לגובה שתי קומות ונשא גג רעפי חרס גמלוני, אם כי טרם הובהר האם היה יציע פעיל בקומה השנייה. מעבר לעובדה שגובה היכלית ארון הקודש חייבה גובה של שתי קומות, נמצאו עמודים וכותרות עם עיטורי אתרוג ששייכים לקומה השנייה. מבנה בית הכנסת הוא מבנה כובד, עובי קירותיו 1.10 מ' והם בנויים שני פנים: החיצוני באבנים מסותתות בקפידה, בדרך כלל בסידור 'ראש-פתי', והפנימי באבנים מסותתות חלקית, קטנות באופן יחסי. לייצוב האבנים קיים, בין שני הפנים, מילוי צפוף של טריזי בזלת, אדמה וסיד. כך נבנה בית הכנסת לפני 1500 שנה וכך הוא נבנה מחדש בימים אלה.

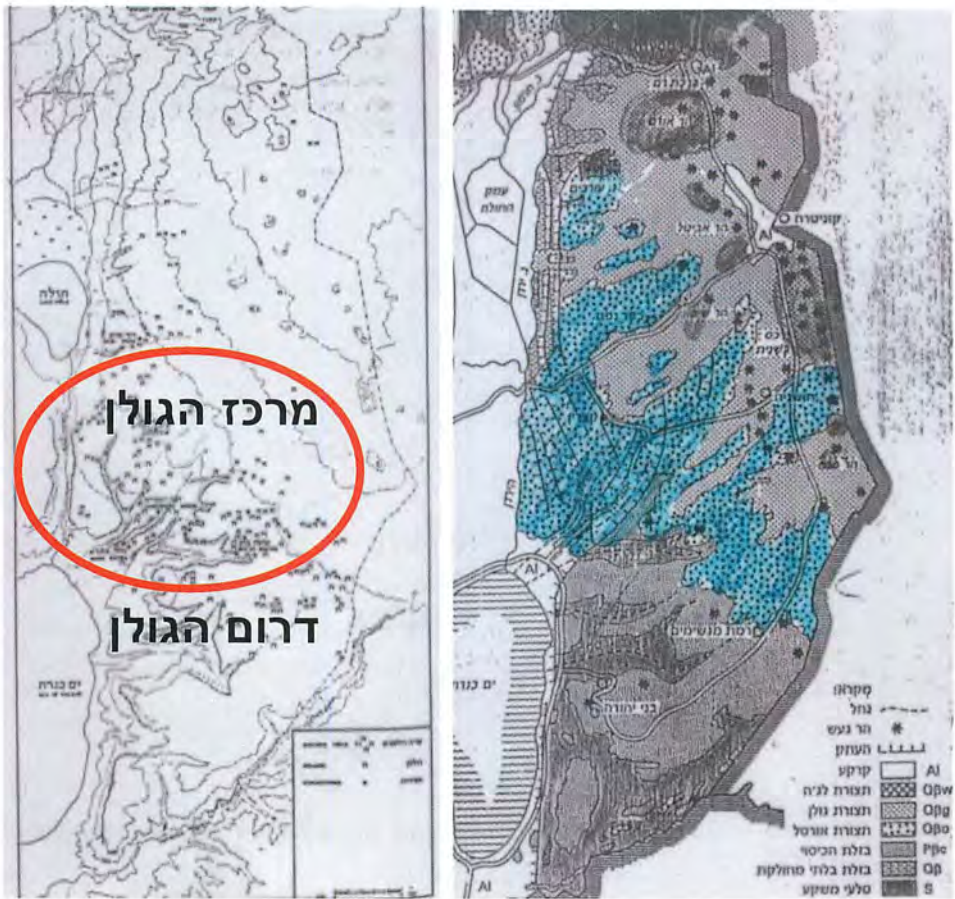
היכלית ארון הקודש

גולת הכותרת של החפירה הינה ללא ספק ההיכלית המפוארת לארון הקודש אשר נחשפה כמעט בשלמותה על כל פריטיה הארכיטקטוניים כשהיא נפולה מעל בימתה. על פי הצעת השחזור התנשאה לגובה של יותר מחמישה מטרים. ההיכלית כוללת במה בעלת גרם מדרגות צר מעוצב, כרכובים, שני עמודים מעוטרים בתבליט עשיר של גפן הצומחת מתוך אמפורה, וורדות, קשתות ועיטורים גיאומטריים. כל עמוד נושא בראשו תבליט מנורת שבעת הקנים המלווה בסמלים יהודיים מובהקים: לאחת מחתה, שופר, אתרוג ולולב ולשניה מחתה ואגד ארבעת המינים. העמודים נשאו מעליהם כותרות, אחת מהן בעלת תבליט נשר, מעליהן התנוסס גמלון סורי, בראשו כתובת בארמית המזכירה ככל הנראה את שמו של הנדבן. היה זה מבנה אבן שעוטף ארון עץ כאשר תחתיתו מהווה תקרה לחלל פנימי קטן בתוך הבימה. לחלל זה פתח כניסה ממערב והוא שימש ככל הנראה לגניזה.

גילוייה של היכלית ארון הקודש בבית הכנסת באם אל-קנאטר חשוב במיוחד לאור העובדה שעד עתה נתגלו רק פריטים בודדים מהיכליות שכאלה בבתי כנסת עתיקים. תיאורי ארונות קודש אמנם מוכרים לנו מרצפות הפסיפס כגון אלו של חמת טבריה, בית אלפא ובית שאן אך באם אל-קנאטר נמצאה לראשונה היכלית ארון הקודש כיחידה ארכיטקטונית במלואה בבית הכנסת. שאלת מקור עיצובה של ההיכלית מאתגרת, מצד אחד את חזית מבנה בעל שני עמודים משני צידי פתחו וקשת מעליו ניתן לפרש כעיטור זיכרון לחזית בית המקדש השני בירושלים, כפי שבא לידי ביטוי במטבעות מרד בר כוכבא ובציורי הקיר בבית הכנסת שבדורא-אירופוס. מצד שני הגמלון הסורי שבראש היכלית באום אל קנאטר אינו נמצא בעיטורי בית המקדש הקדומים וכמובן לא במקדש עצמו. מכל מקום ניתן להציע כי המונח המקובל בפי יהודי עדות המזרח לקרוא ל"ארון הקודש" בשם היכל מקורו בעיטורי ארונות קודש מפוארים דמויי היכלית כמו זה של אום אל קנאטר.

גיא-ארכיאולוגיה מרחבית של רמת הגולן הבזלתית

למבקר ביקור חטוף בגולן או לחילופין גם לחוקר המעיין רק במפה גיאולוגית ישנה בקני"מ של 1:250000 נראה כל הגולן כרצף בזלתי אחיד. שימוש מושכל במפות הגיאולוגיות של הגולן בקני"מ 1:50000 "פותח את העיניים" ומאפשר להבין תופעות יישוביות וארכיאולוגיות מרחביות רבות.



איור 2 (מימין): מפת גיאולוגית של הגולן עם הדגשת מרחב בזלת דלווה (על פי דורון מור);
איור 3 (משמאל): תפרושת שדות הדולמנים (מבני קבורה קדומים) ברמת הגולן.

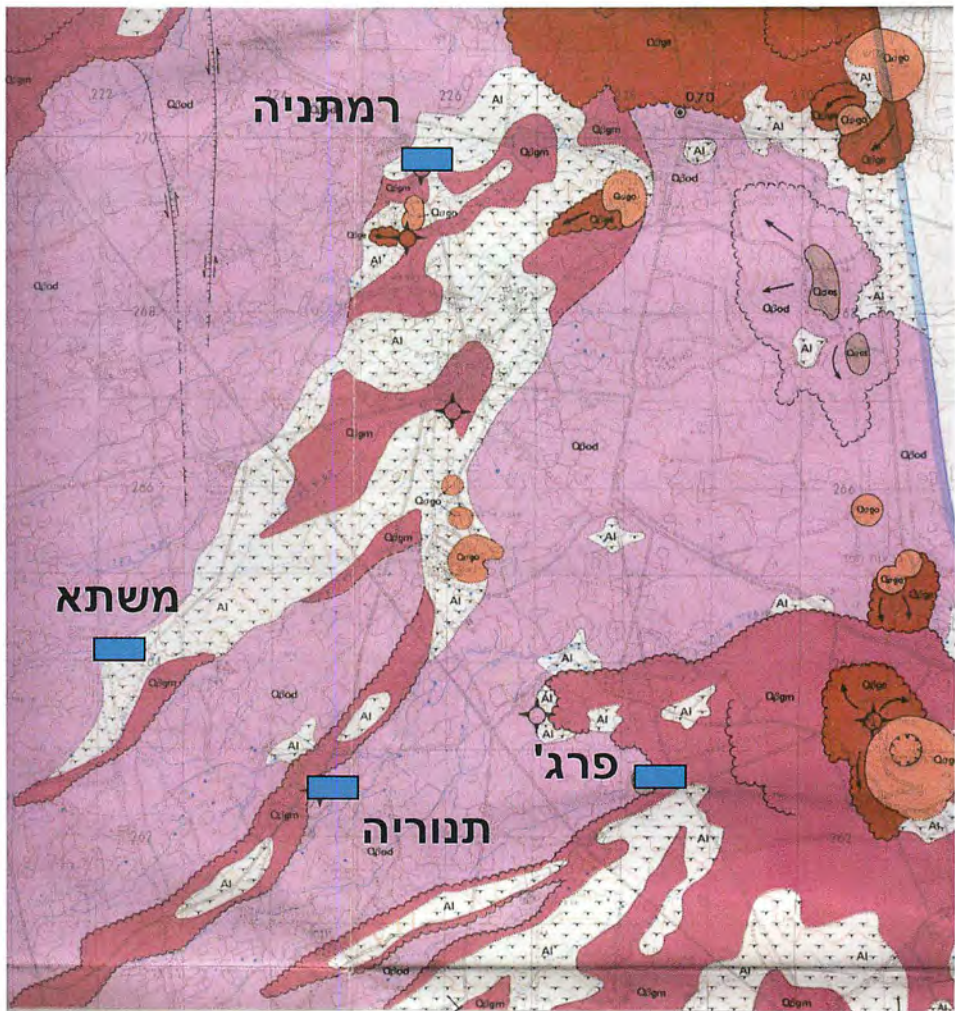
במחקריו על הוולקניזם בגולן הבחין דורון מור כי המרחב הבזלתי של רמת הגולן מורכב מיחידות משנה בעלי שונות מובהקת. ההבחנה נעשתה בעיקר על סמך קריטריונים מורפולוגיים והיא יחסית קלה להבחנה בשטח ובתצלומי אוויר.

כבר בעבודתו הגיאולוגית הבחין מור ביישום הארכאולוגי-היסטורי של חלוקה בסיסית זו וכתב כי "על גבי בזלת דלווה וכמעט רק עליה נמצאים שרידים מגאליתיים רבים מאד (דולמנים, טומולים ומתחמים) וכן כפרים וגדרות. יתכן והדבר נובע מכך שעל גבי בזלת דלווה הטרשית ניתן היה למצוא שברי אבן לבניה, בה בשעה ששטחי הקרקע הנרחבים של בזלת מואיסה הסמוכה שימשו בדרך כלל כשדות לגידולים חקלאיים".



איור 4: מפת בתי הכנסת מהתקופה הביזנטית ושמות אתרים שמם נשתמר (באדום)

בסיור ניגע במספר תופעות ארכיאולוגיות ויישוביות במרכז הגולן ובדרומו ונציג את השימוש במפה הגיאולוגית כבסיס להבנת המרחב. במספר מחקרים ארכיאולוגיים והיסטוריים בגולן הובחן בשונות מובהקת בין מרכז הגולן ודרומו וכן גם בין מערב מרכז הגולן בין מזרחו. שונות בפיזור הדולמנים מתקופת הברונזה התיכונה, פיזור בתי בד ומתקנים חקלאיים אחרים, גודל אתרי ישוב מתקופות שונות, השתמרות ואי השתמרות שמות עתיקים, מיקומם של היישובים החקלאיים החדשים מאז מלחמת ששת הימים בכלל ושל מושבי עובדים לעומת קיבוצים בפרט, שטחי חקלאות לעומת מרעה, שטחי אש של כוחות שריון לעומת אלו של חיל רגלים ועוד דוגמאות מתחומי חיים וזמן שונים. לדעתנו ההסבר המרכזי לשונות הארכיאולוגית וההיסטורית-יישובית נעוץ בשונות המסלע הבזלתי ובפוטנציאל החקלאי הבסיסי של כל תת אזור (דרום גולן, מערב הגולן ומזרח הגולן).



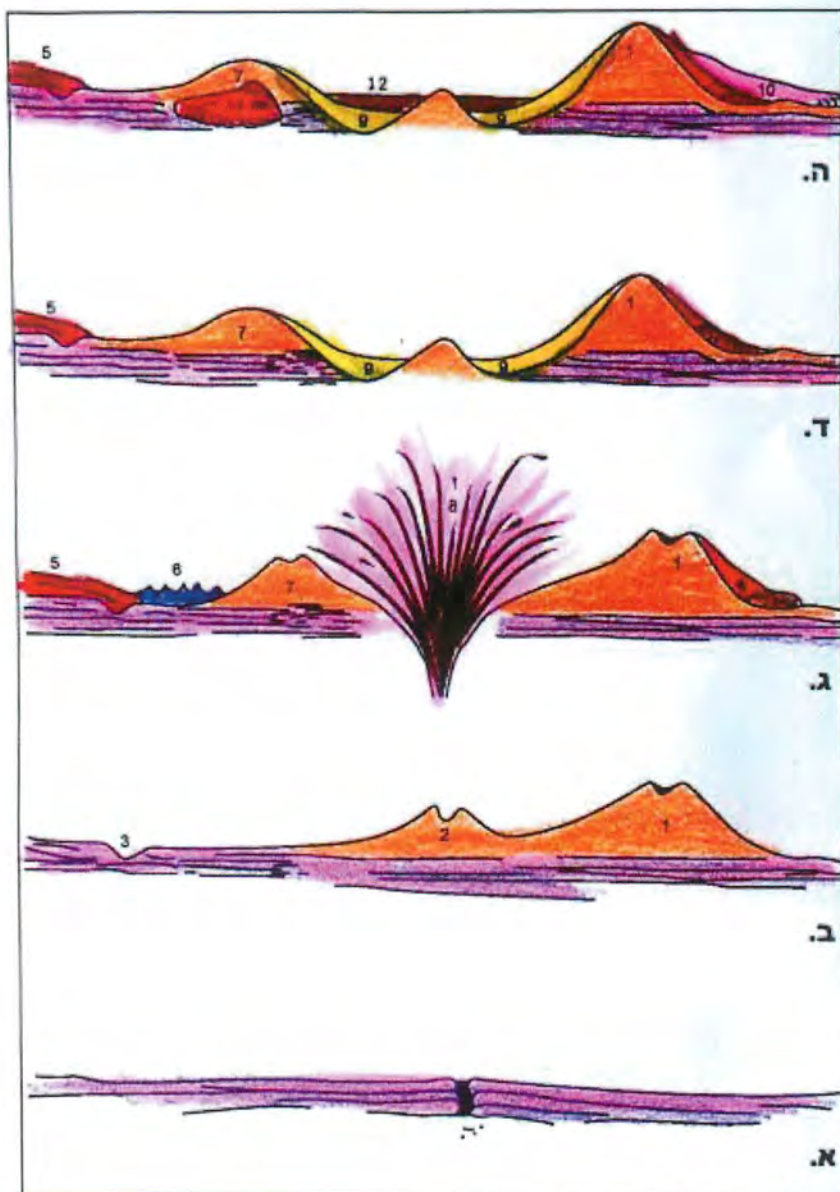
איור 5: מיקום ישובים מהתקופה הרומית והביזנטית במזרח הגולן על גבי מפה גיאולוגית

ספרות:

בן דוד ח. "המפה הגיאולוגית ככלי להבנת תופעות ארכיאולוגיות מרחביות: מקרה מבחן רמת הגולן", בתוך: א. אקרמן, א. פאוסט ו.א. מאיר (עורכים) ארכיאולוגיה וסביבה דברי הכנס, המחלקה ללימודי ארץ ישראל וארכיאולוגיה אוניברסיטת בר אילן, תשס"ה: 149-162.

בן דוד ח., גונן א. ודריי י. "אם אל קנאטר-עונת חפירות ראשונה", קדמונית 132 תשס"ז: 110-120

חלק ב': סיור וולקני ברמת הגולן בהדרכתו של דורון מור



איור 6: התפתחותם של הר ובקעת אביטל (ההסבר לשלבי ההתפתחות מופיע בעמ' הבא)

מבוא

רמת הגולן מתברכת בשפע תופעות גיאולוגיות שונות ומגוונות, המשתרעות בטווח הגילים שבין 4.5 מיליון שנה ויותר ועד כ-100,000 שנה ופחות. היות שההתפרצות הוולקנית האחרונה באזורנו אירעה בשנת 1850 מדרום-מזרח לדמשק (כשהיא מכסה שטח השווה בגדלו לשטח הכנרת) - סביר להניח שהוולקניזם מתחתינו לא אמר עדיין את מילתו האחרונה.

פרופ' בלדריג' אמר בשעתו על הגולן: "אינני מבין אתכם הישראלים - יש לכם כאן כל כך הרבה תופעות וולקניות יפהפיות על שטח מצומצם-יחסית - שאנחנו בארה"ב היינו הופכים שטח כזה לפארק וולקני אחד גדול..."

יחד עם זאת - בשל לחץ הזמן נוכל לבקר במסגרת הסיור רק ב-5 תחנות: 4 מהן בארבע רוחות השמיים של הר בנטל, והאחרונה באתר הגיאולוגי-תיירותי הראשון שב"פארק הוולקני גולן".

תחנה 1: מבתר הר בנטל

התחנה הראשונה היא במבתר הכביש העולה להר בנטל, ומשם שני כיווני תצפית: התצפית הראשונה צפונה, אל החתך שבמבתר הכביש, בו נראות שכבות הסקוריה, הטוף והטוף המולחם הנוטות מלוע הר הגעש דרומה. במקום זה ניתן להמחיש בנקל כיצד ניתן, באמצעות מדידת הדיפ של השכבות, לשחזר את מיקומו וגבהו של הר הגעש - גם אם חלקו העליון של החרוט קטום. נקודת התצפית השנייה - דרומה, לכיוון בקעת אביטל. על פי ויינשטיין וחובריו 2006 וכן ב-2013 נוצרו ההר והבקעה בשורת אירועים סוערים (ראה איור 6):

א. לפני כ-700,000 שנה התפשטו על פני השטח קילוחי בזלת דלווה, שיצרו את הבסיס להר הגעש (דוגמה לבזלת זו נראה במחשוף ב"אתר אביטל"). בקעת קוניטרה נוקזה אז מערבה ע"י נחל שאינו קיים היום.

ב. השלב השני מתחיל עם בניית שני חרוטי סקוריה על גבי בזלת דלווה: החרוט הדרומי, אשר חלקו הדרומי בונה כיום את הר אביטל הנוכחי (חלקו הצפוני נהרס אחר כך) ועוד חרוט קטן יותר, במקום בו קיימת היום בקעת אביטל. מחרוט אביטל הדרומי בוקעים קילוחי לבה המכסים את עברו הדרומי של ההר.

ג. לפני כ-116,000 שנה מתרכזת הפעילות הגעשית בחלק הצפוני של מה שהיום היא בקעת אביטל, תוך יצירת קילוחי לבה, אשר זרמו כלפי מערב. קצת צפונה יותר הלך ונבנה הר בנטל בהתפרצויות סטרומבוליאניות. באותו זמן קלחו מהר אודם דרומה קילוחי לבה שסתמו את הנחל שניקז עד אז את בקעת קוניטרה מערבה. מי הגשמים שירדו בצפון הגולן זרמו דרומה ומילאו את בקעת קוניטרה באגם, או ביצות, (שבין היתר שימשו גם את האדם הקדמון שהתגורר בשולי האגם). מי האגם חילכלו או הציפו את אזור הפעילות המאגמתית, באו במגע עם המאגמה שבצינור הגעש ויצרו שורת התפוצצויות פריאטומאגמטיות אדירות, שריסקו את הבזלת ואת חרוט אביטל הצפוני, וגרמו להתמוטטות חלקו הצפוני של חרוט אביטל הדרומי. במקביל לכך נבנו סוללות טוף משני עברי אזור ההתפוצצות, והן שקובעות את מיתאר בקעת אביטל הנוכחית.

ד. הטוף הנצפה במבשר הר בנטל הורבד כאן במטחים פריאטומאגמטיים אשר שוגרו מצפון בקעת אביטל, והוא מתאצבע עם שכבות הסקוריה ששוגרו באותו זמן ממרכז ההתפרצות של הר בנטל.

ה. שני קילוחי לבה אחרונים מבשרים את קץ הפאזה הוולקנית: קילוח אחד בוקע מהר בנטל לפני כ-109,000 שנה מערבה (הוא "קילוח בנטל", אותו נראה בתחנה הבאה), ועוד קילוח ("קילוח אביטל") פורץ לפני כ-100,000 שנה מעברו הדרומי של הר אביטל.

תחנה 2: הר בנטל וקילוח בנטל

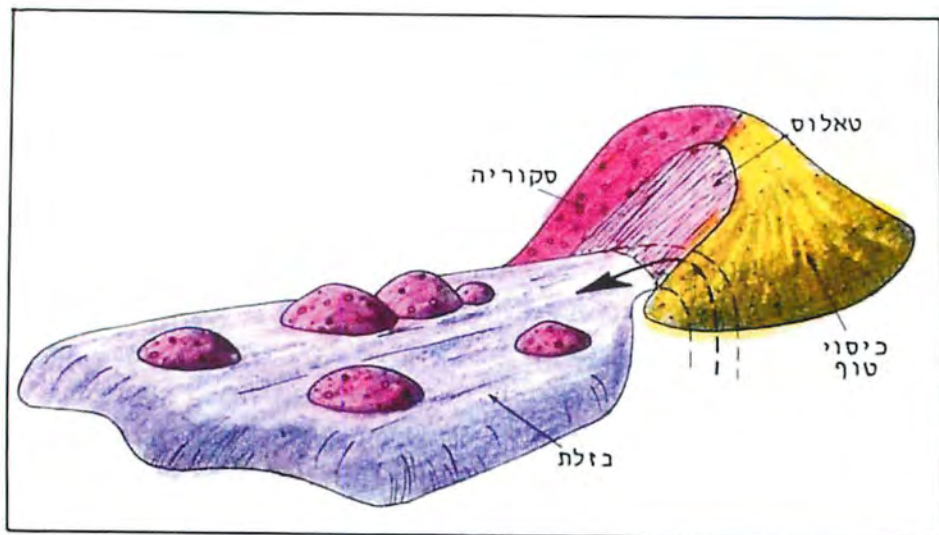
להר בנטל צורת פרסה הפתוחה מערבה. משיחזור מיקומה וגבהה של הפסגה עולה שהיא היתה מעט מערבה מנקודת התצפית וגבוהה יותר בכ-50 מ'. היות שחלקו המערבי וליבו של ההר חסרים – נשאלת השאלה – היכן נמצא כל החומר החסר?

מערבה מההר נוכל לראות את "קילוח בנטל" לאורך כק"מ, כשגובהו כ-30 מ' מעל פני הסביבה. על גבי שלח הקילוח מופיעות 7 גבעות סקוריה בולטות (ועוד אחדות קטנות יותר, הנטמעות לתצפית בצמחיה העבותה). הסקוריה שבהן מגובבת וללא שיכוב רדיאלי כמצופה מחרוט וולקני, ולפיכך ההנחה היא שזוהי הסקוריה החסרה במרכז ההר, והיא הוסעה למקומה זה על גבי קילוח בנטל שהגיע בצידו המערבי של ההר. (בדיקות כימיות העלו שהרכב הסקוריה שבגבעות על קילוח בנטל זהה לזה של

הסקוריה בהר בנטל, מה שתומך בהשערה זו; ווינשטיין, בעל פה). תופעה דומה לזו נצפתה בשנת 1974 בהר הגעש טולבצ'יק שבקמצ'טקה, וכמו כן התופעה ידועה גם, למשל, ב"קרייטר אוף דה מון נישונל פארק" באיידהו שבארה"ב.



איור 7: הר בנטל מהאוויר

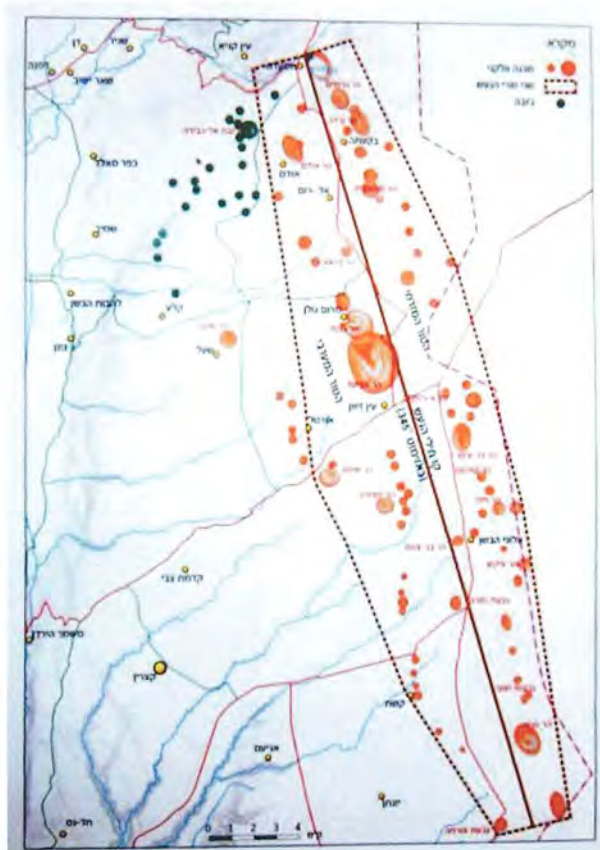


איור 8: הר וקילוח בנטל

תחנה 3: הוולקניזם בצפון הגולן

במבט צפונה נראה הר אודם האדיר, שקילוחיו היו האחרונים להתפרצות (לפני כ-100,000 שנה), כיסו את כל צפון הגולן והגיעו גם אל עמק החולה. הקילוחים הדרומיים שלו חסמו את הנחל שניקז תחילה את בקעת קוניטרה למערב, ובשל כך יצרו אגם (או ביצה) בבקעת קוניטרה הקדומה: מי האגם הם שגרמו להתפוצצויות הפריאטו-מאגמתיות של הר אביטל.

כמו כן רואים מכאן את חלקם המרכזי והצפוני של שני טורי הגעש של הגולן, וניכר כיוונם המקביל לים סוף – מדרום-דרום-מזרח לצפון-צפון מערב. נשאלת השאלה האם כיוון זה הוא מקרי או שהוא תוצר של מתיחת הלוח הערבי לכיוון מזרח-צפון-מזרח ככלומר בניצב לכיוון הים-סופי) – ופתיחת סדקים שאיפשרו את עליית המאגמה.



איור 9: טורי הגעש בגולן

תחנה 4: הוולקניזם בגולן הסורי

אחרי מלחמת יום כיפור היתה לנו הזדמנות לבדוק גם את הוולקניזם בתחום "המובלעת" הסורית שנכבשה במלחמה, אזור שניתן לראות אותו במבט מזרחה מהר בנטל. ניכר שהחרוטים הוולקניים בגולן הסורי הם הרבה יותר מפוזרים ומרוחקים אחד מהשני מאשר בגולן, וכו כן אין הם מסודרים בשני קווים מקבילים כמו אצלנו. מצד שני ניתן לראות מכאן את תל חמרא שליד הכפר אל חאדר, ממנו בקעה הלבה הצעירה ביותר באזור הקרוב לנו כשהיא זורמת מזרחה מהתל ויוצרת את "הלגיה הקטנה": דוברטרה קרא ליחידה זו בשם "בזלת אל ווערה". מספר דוגמאות שנלקטו מבזלת זו ב-1974 נתנו גיל של $60,000 \pm$ שנה.

ביום של ראות טובה במיוחד ניתן לראות מכאן (הרחק ובמטושטש, במבט לדרום-מזרח) את הסילואטה של הר הדרוזים.

תחנה 5: אתר אביטל

אתר אביטל, שנבנה במחצבה נטושה על ידי הקרן לשיקום מחצבות, המועצה האזורית גולן ומשרד התיירות - הינו אתר לימודי, המביא את הוולקניזם אל התיירות העממית. ניתנים בו הסברים פשוטים המובנים לכל ב-3 השפות הרשמיות על התופעות הוולקניות הניכרות בקירותיו, יחד עם מודלים שונים (מפה תלת מימדית של ההתרחשויות באזור זה במשך 700,000 השנה האחרונות, עמדת שמע להסבר כללי על הוולקניזם ותוצריו, מודל של הר געש פעיל ושולחן דוגמאות תצוגה). מאז פתיחתו לציבור באפריל 2013 עברו בו כבר עשרות אלפי מבקרים, והמחמאות זרמו כלבה סוערת מצד המבקרים, שבפעם הראשונה הבינו כמה וכמה דברים שהיו רואים אותם בגולן במשך שנים - בלי להבין את מראה עיניהם.



איור 10: אתר אביטל מתצפית קוניטרה

רשימת ספרות:

Weinstein Y., Weinberger R., 2006: The geology and volcanological history of mount Avital, Israel journal of Earth Sciences 55' pp. 237-255

Weinstein Y., Weinberger R., Calvert A., 2013: High-resolution $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ study of Mount Avital, northern Israel: reconstructing interaction between volcanism and the drainage system and their impact on eruptive style, Bull. Volcanol. Pp. 1-12.

מור ד., 2014, הגולן – ארץ הרי הגעש, הוצאת "אקדמון", מהדורה שנייה, 240 עמ".

סיור מספר 6:**היבטים גאומורפולוגיים והידרולוגיים של נחלי הגולן****נורית שטובר-זיס¹ ומשה ענבר²**

- (1) החוג ללימודי ארץ ישראל, אוניברסיטת חיפה
- (2) החוג לגאוגרפיה ולימודי סביבה, אוניברסיטת חיפה

מבוא

כמעט יובל שנים מלאו למחקר הגולן. מחבל ארץ מוזנח ושומם למחצה, שחוקרים ועולי רגל מכל הדורות פסחו עליו, הפך הגולן מאז 1967 למוקד משיכה לחוקרים ולמטיילים. עשרות רבות של פרסומים ומחקרים הוקדשו לאזור זה, ובמיוחד לנושא המים. משאבי המים בגולן מיוחדים בהיבטים שונים:

- הנחלים בארץ שנזופם הטבעי שרד כמעט ללא שינוי מועטים ביותר, רובם המכריע בגולן.
- עוצמת השטפונות של כמה מן הנחלים גבוהה מאוד, ולעתים עולה על זו של הירדן.
- הגולן והחרמון הם מן האזורים הבודדים בארץ, הניזונים בחלקם ממי שלגים.
- מחקר מי התהום באקווה הבזלתית ייחודי לגולן.

כללי: התחתרות נחלים

האופי הקניוני של נחלי רמת הגולן מהווה נוף ייחודי המאפשר לימוד תהליכים גאומורפולוגיים וקצב התהוותם. קצבי התחתרות נחקרו בירמוך, בנחל חמדל, בנחל עורבים ובנחל סער, הודות לאפשרות לתארך תיארוך רדיומטרי של סלעי הבזלת.

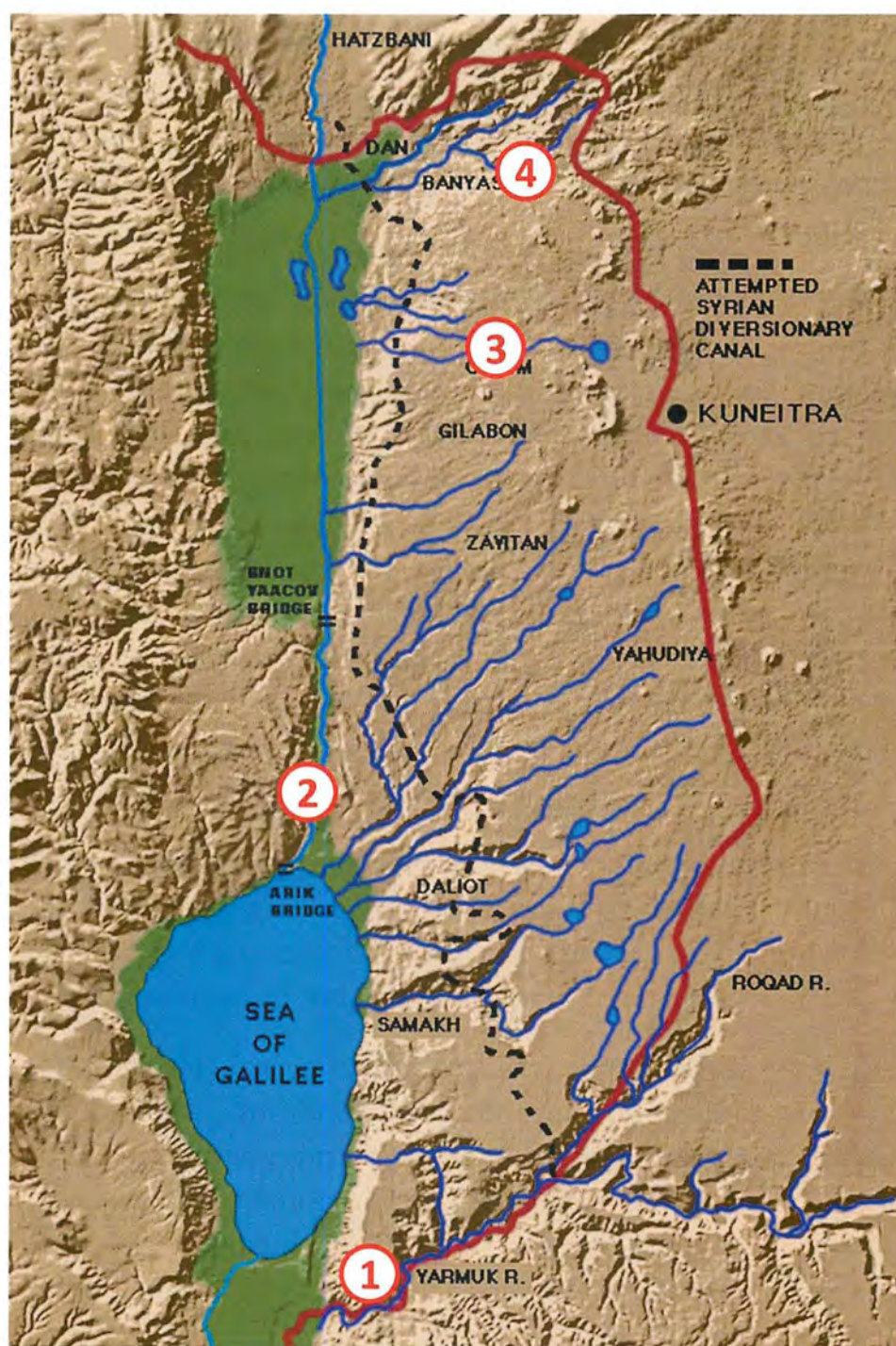
התחתרות נחלים מושגת על ידי ארוזיה והעמקת רשת הניקוז. לאופי וקצב ההתחתרות יש מספר גורמים: הספק זרימה (stream power), שיעור ההתרוממות של הנוף (rate of uplift), מימדי אגן ההקוות (drainage area) ושפוע האפיק (channel gradient).

במסלע וולקני, כמו ברמת הגולן, שיעורי ההתחתרות בדרך כלל נמוכים, בסדר גודל של 0.1 מ"מ/שנה או 10 ס"מ/1000 שנה. בעולם, שיעור ההתחתרות הממוצע באקלים ממוזג הוא 15 ס"מ/1000 שנה.

טבלה 1. שיעורי התחתרות בנחלי הגולן

Location	Lithology	Rate cm/ka	Climate Tectonics	Time range	Geochr method	Source
Yarmouk	Basalt	20	Med – Semiarid Uplift	3 – 0.8 My	K- Ar	Mor & Steinitz, 1985
Yarmouk	Basalt	21	Med- Semiarid Uplift	0.8 - 0.25 My	K- Ar	Mor & Steinitz, 1985
Yarmouk	Basalt	9	Med- Semiarid Uplift	0.250 My	K- Ar	Mor & Steinitz, 1985
Hamdal	Basalt	10	Med. Uplift	0.12 My	Ar - Ar	This paper
Orvim	Basalt	9	Med.Uplift	0.9 My	K- Ar	Mor, 1985
Zavitan	Basalt	20	Med. Uplift	15 Ky	Geomorph. terrace	Inbar, 1970
Jordan canyon	Basalt	30	Med. Uplift	20 Ky	C ¹⁴	Shroder et al., 1998
Banyas	Travertine, Basalt	100	Med.Uplift	28 Ky	U-Th	Heimann et al., 1998
U. Zavitan	Basalt	13	Med.Uplift	1 My	K- Ar	This study
Jordan canyon	Basalt	10	Med.Uplift	2 My	K - Ar	Heimann, 1996
Amud	Limestone, Basalt	60 - 20	Med.Uplift	30 Ky	C ¹⁴	Inbar and Hovers, 1997
Saar	Limestone, Basalt	4	Med. Uplift	117 Ka	Ar - Ar	Inbar, 2009

מטרת הסיור היא הכרת היבטים גיאומורפולוגיים והידרולוגיים של מספר נחלים/אזורים ברמת הגולן: נהר הירמוך, נהר הירדן, נחלי הבטחה הסכורים ונחל סער (איור 1).



איור 1. מפה כללית של רמת הגולן ותחנות הסיוור: 1- ערוץ הירמוק; 2- גשר הדודות; 3- מאגר עורבים; 4- נחל סער.

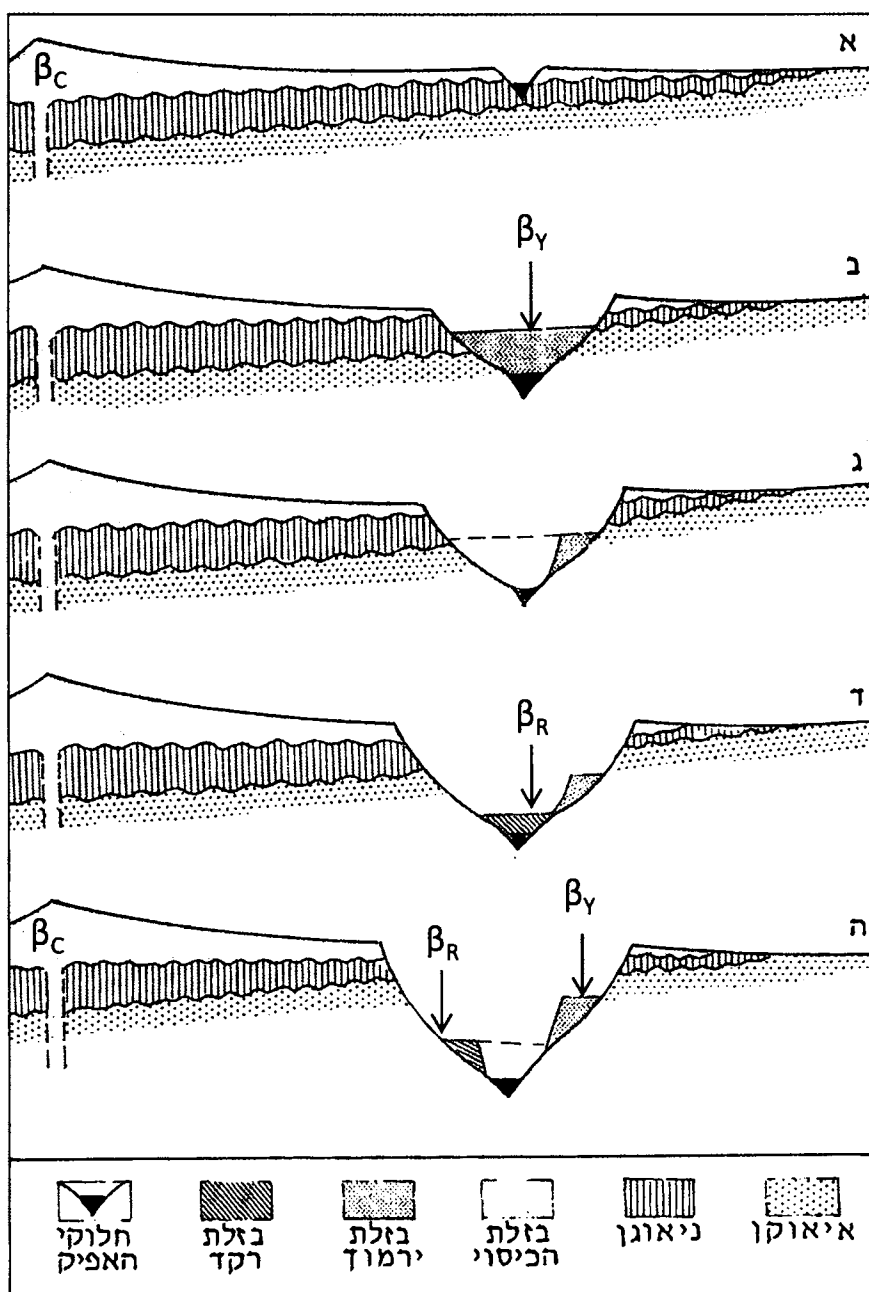
תחנה 1 - קניון הירמוך

נהר הירמוך הוא היובל הגדול ביותר של נהר הירדן. אורכו כ- 70 ק"מ, ושטח האגן שלו משתרע על פני 6790 קמ"ר, מרביתם בסוריה ומיעוטם בירדן ובישראל (מספר קמ"ר בלבד). היובלים העיקריים של הירמוך הם ואדי רקד, אלאן, חריר ושלאה.

הספיקות ההיסטוריות של נהר הירמוך נאמדו בכ- 450-500 מלמ"ק בשנה, מה שהופך את הירמוך לנהר עם ספיקה פוטנציאלית בסדר גודל שווה לזו של הירדן. יחד עם זאת, הירמוך הוא נהר בעל אופי שטפוני וספיקתו משתנה בין חודשי הקיץ והחורף, כמו גם מושפעת מאוד משנים שחונות או גשומות. שימושי הקרקע באגן הירמוך משפיעים גם הם על ספיקת הנהר. ריבוי האוכלוסיה, החקלאות המתפתחת וצריכת המים הגוברת הביאו לבניית סכרים ומאגרים בירדן ובסוריה, הטיית מים במעלה האגן ולכן לצמצום משמעותי של הספיקות במורד. כך למשל, בשנות ה- 60 וה- 70 היתה ספיקת הקיץ 175 מלמ"ק (מי מעיינות בלבד) וספיקת החורף 300 מלמ"ק (מי גשמים ומעיינות) (סופר, 1992). בעשורים האחרונים ספיקות אלה צומצמו מאוד והן עומדות על 4-5 מלמ"ק בחודשי קיץ ו 17-40 מלמ"ק בלבד בחודשי החורף. מעיינות חמת גדר הם נביעות הידרותרמליות ובמקום קיימות גם נביעות של מים מתוקים בעלי ספיקה משמעותית המנוצלים לגידולים חקלאיים. באזור זה הספיקה נשענת על זרימה איתנה ושיטפונית גם יחד.

הרקד והירמוך חדרו את הכיסוי הבזלתי והתחתרו בסלעי המשקע הרכים מגיל אאוקן וניאוגן. כך נוצרו קניונים אדירים, בעומק של 300-400 מ', וקילוחי לבה צעירים ('בזלת ירמוך' ו'בזלת רוקד') זרמו בהם (מור, 2014) (איור 2). הירמוך המשיך להתחתר בהם והותיר מדרגות בנויות בזלת דבוקות לדפנות הקניון (איור 3)

שכבות של בזלת הירמוך והרקד מופיעות בחלקו התחתון של ערוץ הירמוך ויוצרות מצוקים חריפים. בזלת הירמוך מורכבת מטרסות של בזלת צעירה שזרמה בקניון הירמוך. היא מופיעה מגובה של 100-200 מ' מעל אפיק הירמוך. עובייה כ- 30 מ', גילה פליסטוקן תיכון (0.6 מ"ש). בזלת הרקד מורכבת מטרסות ומשרידים של בזלת צעירה יותר, אשר זרמה אל ערוץ הירמוך דרך יובלו - נחל רקד. הטרסות שלה מופיעות נמוך יותר מבזלת הירמוך, עקב המשך העמקתו של ערוץ הירמוך עם הזמן, בגובה של כ- 30-60 מ' מעל האפיק. גילה פליסטוקן תיכון (0.35-0.48 מ"ש) (מור, 2014).



איור 2. שלבי התפתחותו של ערוץ הירמוך (מור, 2014) (β_C - בזלת כסוי, כ 4.3 מליון שנה;

β_Y - בזלת ירמוך בת כ 0.8 מליון שנה; β_R - בזלת רקד בת כ- 0.4 מליון שנה).



איור 3: מבט כללי על קניון הירמוך ושלושת הדורות הבזלת: בזלת הכסוי, בזלת ירמוך ובזלת ראקד.

תחנה 2 - גשר הדודות וההערוץ הקניוני של הירדן

2.1 הפיסיוגרפיה והמשטר ההידרולוגי של הירדן העליון

אזור הפזרות של הירדן משתרע על שטח של קמ"ר אחד בלבד, אולם התהליכים הפלוביומורפולוגיים המתרחשים בו הם ברובם פועל יוצא של תכונות אגן ההיקוות. האגן של הירדן העליון כולל שטח של 1,592 קמ"ר עד לשפכו לכנרת. ההפרש הטופוגרפי ניכר ונע מ-2,814 מ' בפסגת הר החרמון עד ל-210 מ' בים כנרת. שליש מן האגן נמצא מעל גובה של 1,000 מ' וגובהו הממוצע הוא 823 מ'. האגן בעל צורה מאורכת, כ-80 ק"מ אורך ורוחבו נע בין 15 ל-30 ק"מ. צורתו הכללית מותווית על ידי הקווים הטקטוניים של בקע הירדן הצפוני. כמות המשקעים השנתית הממוצעת היא כ-800 מ"מ, והיא משתנה מכמות של 1,400 מ"מ בהר החרמון ל-400 מ"מ בשפך הירדן לכנרת. השלגים מהווים כ-11% מכלל המשקעים אבל גורמים רק כ-7% מהנגר העלי. יחס נגר/משקעים הוא גבוה - כ-40% היות ומדידות הנגר כוללות את המעיינות הגדולים שלרגלי החרמון המספקים את מרבית ספיקת המים של הירדן.

הזרימה השיטפונית מהווה כשליש מכלל הזרימה, זרימת הבסיס בחודשי הקיץ היא כ-8 מ"ק/שנייה וכפולה מזו בחודשי החורף. ספיקות שיא שנתיות מעל 60 מ"ק/שנייה

מתרחשות רק ב-3% מהשנה, אבל בשנים גשומות יכולות להימשך לפרקי זמן ארוכים. בשנות בצורת ספיקות השיא אינן מגיעות ל-60 מ"ק/שנייה, שהוא ערך הסף לתנועת הגרופת הגסה באזור הפזרות.

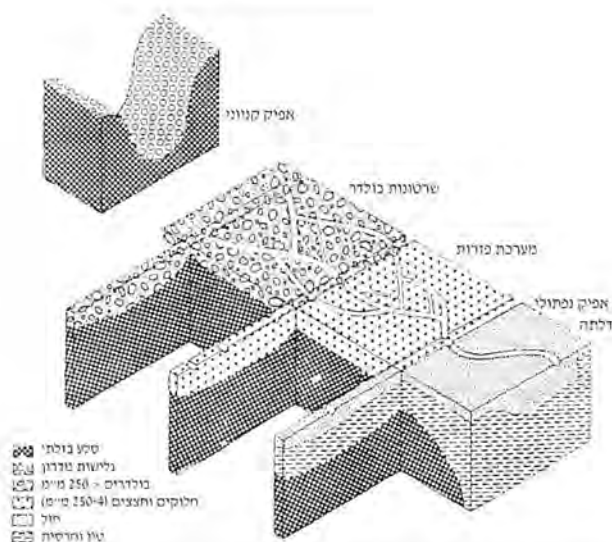
2.2 הערוץ הקניוני של הירדן

הירדן זורם באפיק טבעי מגשר בנות יעקב עד לשפכו לכנרת, מרחק של כ-13 ק"מ. לנהר זרימה איתנה כל השנה, מספיקה של 5-8 מ"ק/שנייה בקיץ לזרימות של מעל 100 מ"ק/שנייה בשטפונות החורף (איור 4).



איור 4. גשר הדודות- נסיון חצייה (כושל) 9.2.75 צילום: מ.ענבר.

הירדן זורם בקניון לאורך בקע הירדן במסלע בזלתי. במתלולים ניכרים תהליכי גלישה ומפולות. ביציאתו מן הקניון, הירדן מתפצל למספר אפיקים בדגם של פזרות, ולאחר מכן יוצר נפתולים עד לשפכו לכנרת בדלתה צעירה שנוצרה באירוע השטפוני של ינואר 1969 ומאז התכסתה בצומח (איור 5). הסחף המצטבר במשך השנים יצר דלתה ששטחה כיום מגיע ללמעלה מ-1 קמ"ר, ומימדיה משתנים כתלות במפלסי הכנרת השנתיים.



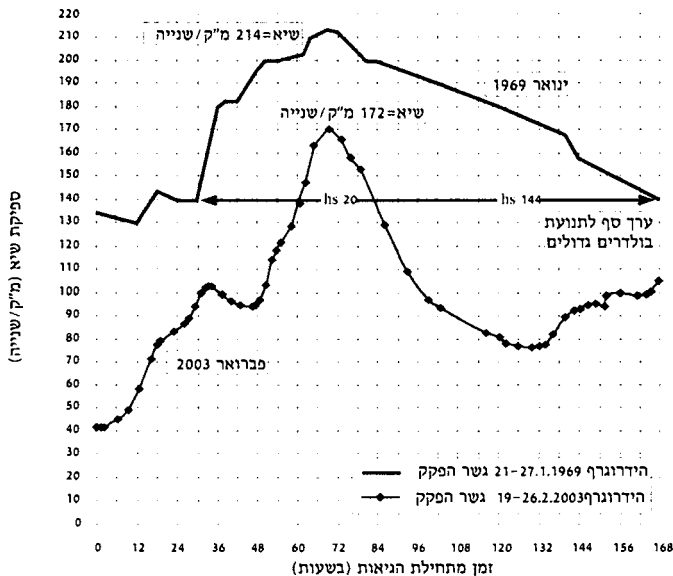
איור 5. מודל פלנימטרי של הירדן העליון מהקניון עד לדלתה בכנרת. השינויים הניכרים ביותר חלו באזור הפזרות בעת גאוויות שיא.

2.3 הגאוויות של 1969 ו-2003

מדידות הספיקה של הירדן נערכות בגשר הפקק, כ-13 ק"מ במעלה האפיק מאזור הפזרות, אך בקטע הזה אין תוספת משמעותית של שטח אגן או יובלים אשר מצטרפים לירדן. בהשוואה אשר נערכה בעת הפעלת תחנה הידרומטרית בשנות ה-70 באזור הפזרות (כ-210 מ' מצפון לגשר "הדודות"), התקבל הידרוגרף זהה שמאשר שבמהלך הגאות לא משתנה השיא ואופיו של ההידרוגרף זהה ומאפשר להתייחס למדידה של גשר הפקק כמתאימה לאופי הגאות באזור הקניון. תקופת החזרה של הגאות של 1969 נאמדת ב-1:100 עד 1:200 שנים על פי הנתונים ההידרולוגיים שהתקבלו מאז תחילת המדידות ונתוני המשקעים בצפון ישראל לתקופה של 140 שנה. הספיקה של 2003 היא השנייה בגודלה בתקופת המדידה אבל בהתייחס לתקופת חזרה של סופת המשקעים ניתן להעריך אותה ב-1:50 שנה.

ההפרש בזרימת השיא בין 1969, 214 מ"ק/שנייה ל-2003, 172 מ"ק/שנייה לא נראה כה משמעותי מבחינת כושר ההסעה של הבולדרים הגדולים אבל משך הזמן של הגאות בספיקות גבוהות מ-140 מ"ק/שנייה היה בהחלט שונה: 144 שעות ב-1969 לעומת כ-20 שעות ב-2003 (איור 6). הפרש ניכר זה מסביר את השינוי המוחלט שחל באזור הפזרות של הירדן עד לשפכו לכנרת ב-1969 לעומת שינוי בקטע של כ-400 מ'

בלבד ב- 2003. יש לציין גם את האופי השונה של הפעילות הנהרית: ב-1969 היה שלב ראשוני של הסרת סדימנטים ממישור הנהר, ורק אחר כך, עם דעיכת ההידרוגרף, חלה השקעה של חומר בעיקר בשרטונות שעיצבו את מערכת האפיקים. במאזן הכללי התקיים תהליך של הסרה (דגרדציה) בשיעור של כ- 2 מ' על פי מספר איים שנשארו כעדות באזור הפשט מלפני הגאות. ב- 2003 התבטאה הגאות בהסעה והשקעה של חומר גס אשר מלאה את האפיקים הקיימים במוצא הנחל מן הקניון ואחר כך חתרה ויצרה אפיק חדש אשר התחבר לזרוע המערבית של הירדן. באזור האפיק הקודם חלה השקעה של כ-2 מ' מעל המפלס הקודם. האפיק הקודם שזרם בצמוד למתלול המזרחי וסחף את הסלעים מהגלישה הגדולה התמלא, והאפיק נדד מערבה מרחק של עשרות מטרים.



איור 6. הידרוגרפים של חודש ינואר 1969 ופברואר 2003. משך הזמן של הספיקה מעל 140 מ"ק/שנייה היה 144 שעות ב 1969 ו 241 שעות ב 2003. מקור הנתונים: השרות ההידרולוגי.

זמינות חומר ההסעה

עובי שכבת הבולדרים באפיק הירדן היא כ-5 מ' על פי חפירה שנעשתה בגשר "הזודות" לצורך בניית גשר. בתחתית השכבה, בגובה טופוגרפי של 180 מ', התגלתה שכבת חואר ויתכן שהיא מיצגת את הגבול הצפוני של תצורת הלשון. בקידוחים שונים באזור בקעת בית צידא החתך הוא של חומר דק, טיני וחולי עם מעט צרורות.

באלפי השנים האחרונות משטר הסעת הבולדרים היה שונה, כי אגם וביצות החולה מיתנו את שיאי השיטפונות אבל באירועים נדירים אכן היתה הסעה והבולדרים הושקעו באזור הפזרות שבהם השיפועים גדולים מאחוז אחד. מקור הבולדרים - במדרונות של הקניון (איור 7). בין גשר בנות יעקב ועד לאזור הפזרות קיימות כ-50 גלישות שמרביתן פעילות ומספקות טעונת גסה לאפיק. החומר הדק מוסע לכנרת ושוקע בקרקעיתה בעוד שהחומר הגס נשאר בקרקעית האפיק ובשרטונות של הפשט. התפלגות הגדלים מראה שמעל מחצית מן הבולדרים הם מעל מטר בציר הבינוני (Inbar, 2000).

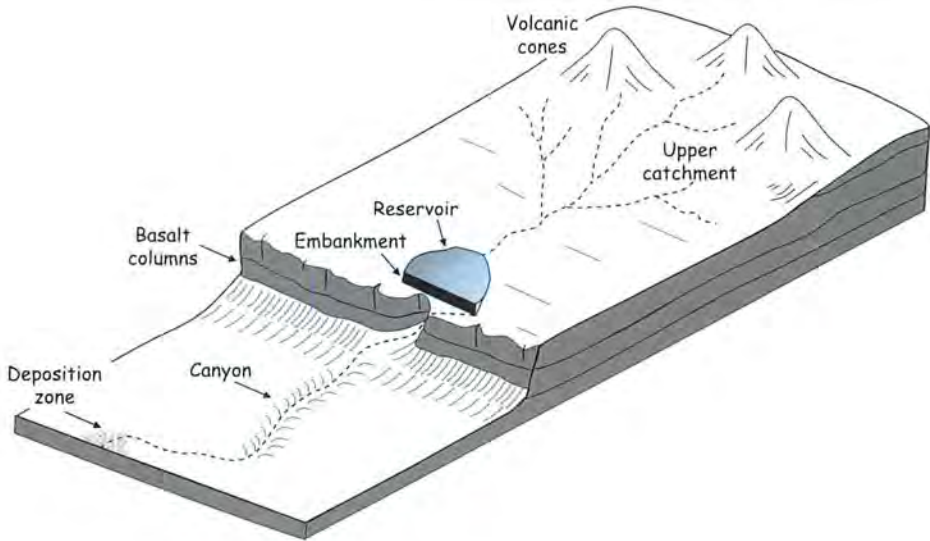


איור 7 הגלישות במסלע הבזלתי מספקות את הבולדרים וחומר גס שהירדן מסיע בשטפונות

תחנה 3 - סוללת מאגר עורבים. מאגרי המים בגולן והשפעתם על האפיקים במורד

בין שנת 1968 ל-1999 נבנו 11 מאגרים ברמת הגולן, במטרה לפתור את בעיית אספקת המים לחקלאות רמת הגולן ולמנוע שאיבה מהכינרת שעלותה האנרגטית גבוהה. המאגרים מוצבים בחלקים העליונים של אגני ההיקוות והם אוגרים מי שטפונות לצרכי השקיה (איור 8). למרות כמויות הגשם הגדולות יחסית המאפיינות את רמת הגולן (בין 500 ל-900 מ"מ/שנה) הרי שלא מצויים מעיינות גדולים היכולים לענות על הצריכה החקלאית הגוברת בעונת הקיץ. המבנה הרבוד של קילוחי הבזלת כאשר פלאוסולים חרסיתיים מונחים ביניהם, מגבילים בדרך כלל את מימדי

האקויפרים. המים הנקווים בתוך הבזלת הסדוקה פורצים החוצה דרך מעינות קילוח קטנים ורבים, או לאורך מדרונות הקניונים.



איור 8. איור סכמטי של אפיק סכור על ידי מאגר גיא ברמת הגולן.

המאגרים תופסים את המים לפני רדתם דרך הקניונים לכיוון עמק החולה והכנרת. אצירת המים במעלה פותרת את העלות האנרגטית הגבוהה הכרוכה בשאיבת מים מהכנרת והעלאתם מגובה של יותר מ-200 מ' לגובה של מעל 400 מ' (גובה השדות בדרום הגולן). יתרה מזאת, מיקומם של המאגרים בגב הרמה מאפשרת השקיית שדות בכח הגרביטציה בלבד וכמעט ללא צורך בשאיבה.

מאגרי הגולן הם מאגרי גיא, כלומר מאגרים הבנויים על ידי חסימת האפיק בסוללת עפר גדולה. הסוללה מנצלת את התוואי הטופוגרפי ואוצרת מאחוריה את המים הגרביטציוניים היורדים באגן. פתרון זה נראה יעיל למדי גם לאור העובדה כי כ-20% מכלל הגשם היורד בגולן הופך לנגר עילי, לעומת ערכים של 2-3 אחוז המקובלים באזורים אחרים בארץ.

סך כל השטח הסכור הוא כ-215 קמ"ר, מתוך 610 קמ"ר שהם שטח האגנים. המאגרים מסדירים 35% משטח אגני ההיקוות ובממוצע 50% מסך כל הנגר העילי. נפח האגירה הכולל הוא כ-28 מלמ"ק ושטחם הוא כ-6 קמ"ר במפלס העליון.

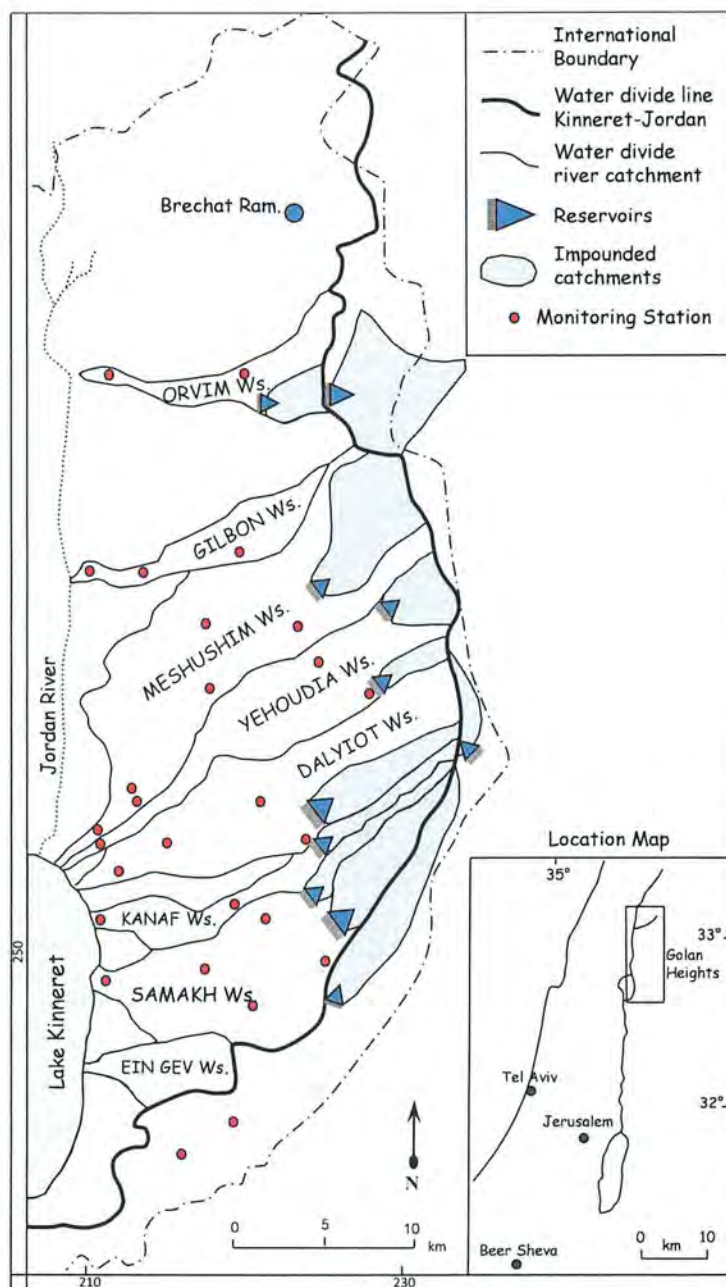
המאגרים הגדולים בעלי יכולת לתפוס את רוב הנגר העילי. מאחר ומטרתם היא השקיית שדות, הרי שמים אלה אינם חוזרים לאפיק. לאחר אספקת המים לחקלאות בעונת הקיץ, לרוב נותרים המאגרים ריקים לקראת עונת הגשמים הבאה. אובדן המים בהתאדות וחלחול גם יחד מוערכת בכ- 20-25% מכל נפח האיגום. טבלה מס' 2 מציגה נתונים פיזיים של מאגרי הגולן.

טבלה 2. נתונים כלליים של מאגרי הגולן המשמשים לחקלאות (מלבד ברכת רם)

שם	תאריך הקמה	שטח אגן קמ"ר	נפח מלמ"ק	שטח הצפה דונם	גובה מים	רום טופוגרפי	אגן ניקוז	אורך סוללה מ'
מרום								
בנטל גולן	1968	24	4.2	600	11	+940	ירמוך	950
עורבים	1999	13	2.5	400	15	+800	כינרת	1300
דלוה	1971	10	0.5	200	6	+850	כינרת	360
קטיף	1998	10	0.5	170	8	+895	כינרת	740
יוסיפון	1983	41	0.3	150	7	+720	כינרת	300
בני צפת	1979	13	1.2	420	11	+810	כינרת	900
בוטמיה	1974	5	0.3	170	7	+680	כינרת	400
דבש								
בזלת	1983	48	4	600	19	+469	כינרת	1600
רוויה								
דליות	1983	8	5	720	18	+425	כינרת	1300
שעבניה								
סמך	1983	8	1.5	380	12	+459	כינרת	1200
בני ישראל	1983	35	7.5	1400	15	+415	כינרת	2300

בניית המאגרים לוותה בוויכוח בין המצדדים - חקלאי רמת הגולן - שהיו מעוניינים בחיסכון הכלכלי, לבין המתנגדים - הגופים הירוקים בארץ, אשר טענו לפגיעה רבת היקף בנחלים. למרות שהעשייה קדמה למחקר, הוחלט על ביצוע מחקר בין-תחומי ורב שנתי שיעקוב אחרי התגובה הגאומורפולוגית והביולוגית למשטר ההידרולוגי החדש במורד המאגרים. המחקר החל ב- 1984 בהקמת 28 תחנות ניטור ובקרה (איור 9). בשנים הראשונות בוצע ניטור פעמיים בשנה בכל תחנות המחקר בהמשך התצפיות והניטור רווחו ולמעשה עד היום מתבצעות תצפיות בחלק מן התחנות. התחנות

מוקמו בחלקם העליון של הנחלים (במורד הסכר אם קיים), בחלקם הקניוני ובאזור של מוצא הנחל ליד התחנות ההידרומטריות (Shtober-Zisu and Inbar, 2005).



איור 9. מפת המיקום של מאגרי רמת הגולן.

ממצאי המחקר מראים שבעקבות הקמת המאגרים חלה ירידה בספיקות השיא ובנפחי המים המובלים אל הכינרת. ירידה זו נראית היטב בטבלה 3, המשווה שלושה מתוך חמשת הנחלים הסכורים. בשניים האחרים (נחל יהודיה ונחל דליות) אין נתונים שקדמו להקמת המאגרים. ממוצע ספיקות השיא השנתיות ירד באופן דרמטי גם בנחל סמך וגם בנחל עורבים (37% ו- 49% בהתאמה), ואילו בנחל משושים ממוצע ספיקות השיא ירד רק מעט, בכ- 5%. בנחל משושים המאגר קטן מאוד, ולכן נחל זה מתפקד כביקורת על האפיקים הסכורים. תופעה דומה ניכרת גם בנפחי הזרימה. הנחל שנפגע יותר מכולם הוא נחל סמך, שבו נרשמה ירידה של 41% בנפחי הזרימה, לעומת נחל עורבים ונחל משושים שבהם נרשמה ירידה בנפח הממוצע ב- 15% וב- 10% בהתאמה.

טבלה 3. ממוצע שיאי גיאויית וממוצע נפחים שנתיים לפני ואחרי בניית המאגרים

נחל	ממוצע שיאי גיאויית (מ"ק/שנייה)			ממוצע נפחים שנתיים (מלמ"ק)		
	לפני המאגרים	אחרי המאגרים	ירידה באחוזים	לפני המאגרים	אחרי המאגרים	ירידה באחוזים
עורבים	13.11	6.69	49	6.43	5.77	10
משושים	87.95	83.2	5	27.32	23.17	15
סמך	24.04	15.4	37	10.14	6.14	41

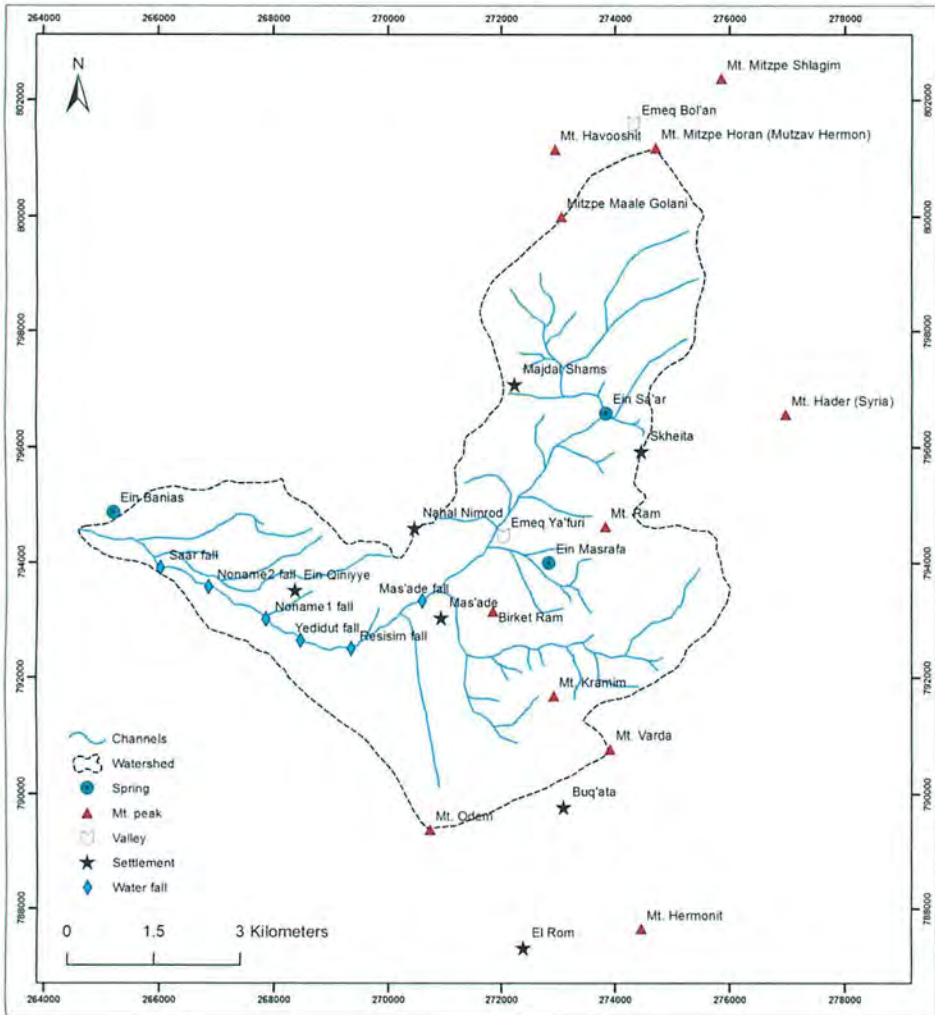
מאחר שהמים משוחררים מן המאגר רק כאשר הוא מלא והדבר מתרחש לרוב במחצית השנייה של עונת הגשמים, הרי שנפחי הזרימה המגיעים לכינרת מושפעים ממילוי המאגר ולא מהמשטר הטבעי של הנחל. כך למשל, ניתן לראות שיציבות הזרימה בנחלים בעלי המאגרים הקטנים גבוהה יותר מאחר שהם פחות מופרעים. סטיית התקן בנחלים המופרעים (דליות וסמך) גדולה יותר מן הממוצע שלהם, הן בספיקות השיא הן בנפחים השנתיים, דבר שאינו ניכר בנחלים האחרים בהם השפעת המאגר קטנה יותר. סטיות תקן גבוהות מלמדות על תנודתיות גדולה של זרימות, על שנים של ספיקות קטנות מהממוצע לצד שנים של ספיקות גבוהות מהממוצע. בנחלים הפחות מופרעים התופעה אינה בולטת כל כך, שכן הם מייצגים משטר קרוב ככל האפשר למשטר הזרימה הטבעי של הנחל (שטובר-זיסו וחובי, 2013).

ספיקות השיא בנחל משושים הרבה יותר גבוהות מאשר בנחלים דליות וסמך בהתייחס לזמן החזרה. כך למשל, בהסתברות להתרחשות אירוע שטפוני אחת ל-10 שנים הספיקה בנחל משושים היא 175 מ"ק/שנייה, לעומת נחל דליות וסמך בהם נרשמו 75 ו-48 מ"ק/שנייה, בהתאמה. קיימת תזוזה של זמן החזרה בנחלים הסכורים, כלומר הזמן הצפוי לספיקות שיא בנחלים דליות וסמך יהיה כפול מאשר בנחל משושים. אם נבדוק למשל את ההסתברות לאירוע שטפוני של 150 מ"ק/שנייה, הרי שבנחל משושים ההסתברות להתרחשותו היא אחת ל-4.5 שנים, בעוד שבנחל דליות אחת ל-30 שנה ובנחל סמך אחת ל-45 שנים. המשמעות של תזוזת זמני החזרה עשויה להיות קריטית להתפתחות הצומח בנחל. התפתחות של עצים באפיקים תלויה מאוד בזמן החזרה, שכן השיטפון עשוי לסלק את העצים הצעירים המתחילים לגדול באפיק. צמיחת מינים מעוצים מתאפשרת אם כן בנחלים הסכורים מאחר והשיטפון הגדול שבכוחו לכסח את הצומח המעוצה על שורשיו מתרחש אחת ל-30 או 40 שנה במקום אחת ל-4 או 5 שנים. בדרך זו נחלים סכורים מאפשרים התבססות מינים מעוצים גם במרכז האפיק ומגוון המינים משתנה (שטובר-זיסו וחוב, 2013).

תחנה 4 – תצפית ממפל סער. קניון נחל סער ומפל סער

נחל סער הוא אחד הנחלים היחידים בארץ שזורם בקו המגע בין סלעים סדימנטריים לבין סלעי בזלת.

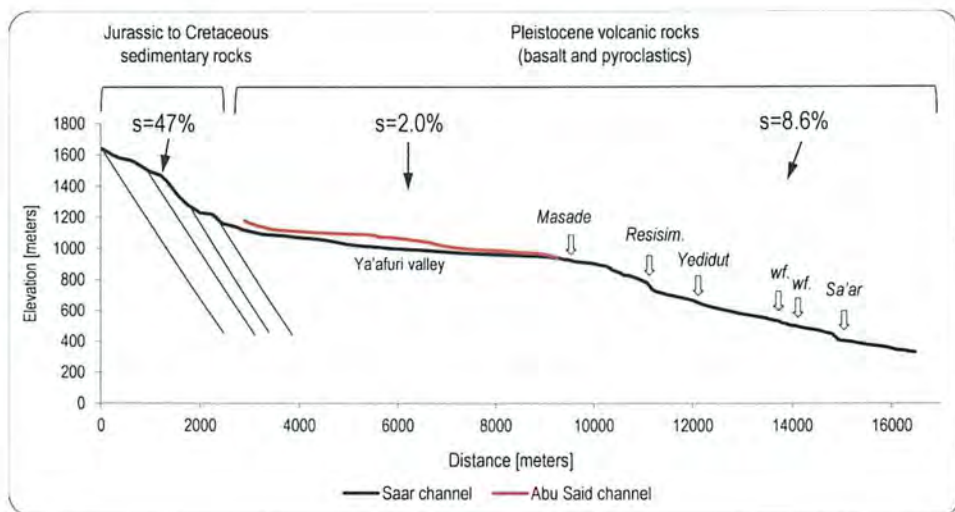
האגן משתרע בסוריה ובישראל, על שטח כולל של 54.1 קמ"ר. ראשיתו ברום 1650 מ' במורדות הדרומיים של החרמון, והוא מהווה יובל עיקרי לנחל חרמון (הבניאס) אליו מתחבר ברום 330 מ' (איור 10). האפיקים העליונים של הנחל מנקזים את מדרונות החרמון וזורמים בשיפועים גבוהים של 40-50%. בהמשך מהלכו הנחל מנקז את בקעת יעפורי השטוחה והאלוביאלית המשתרעת עד הכפר מסעדה. בבקעה נובעים שני מעיינות גדולים: עין סער הניזון מאקויפר היורה ועין משרפה שניזון מאקויפר הקנומן התחתון. במורד הכפר מסעדה הנחל נכנס בבת אחת לקניון תלול וחתור לעומק של כמה עשרות מטרים. שיפועי הזרימה של הנחל בקטע זה הם בממוצע 8.5%. היובל הגדול של נחל סער הוא ואדי אבו סעיד, והוא מנקז את המרחב שבין הר כרמים והר רם. הוא מצטרף לנחל סער בתוך הכפר מסעדה (איור 11).



איור 10. אגן ההיקוות של נחל סער.

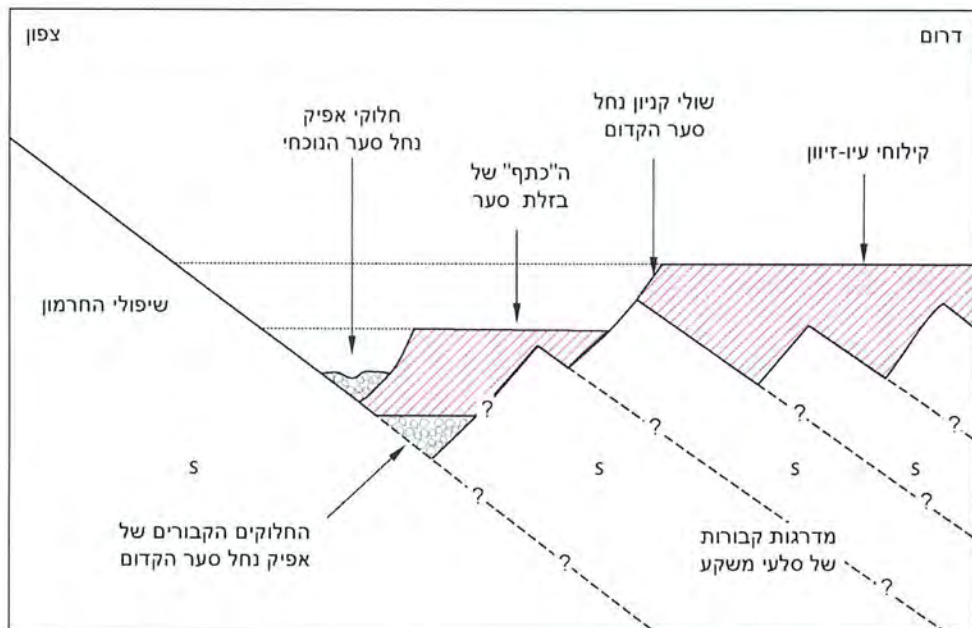
האזור הקניוני משופע במפלים ובריכות, ויש בו 6 מפלים בגבהים שבין 6-30 מטרים. בולדרים ענקיים הבנויים הן מגיר והן מבזלת ממלאים את הקניון ומלמדים על אופיו השטפוני של הנחל ועל עוצמות הזרימה הגבוהות (איורים c13, b13).

כמחצית משטח האגן כולל סלעים קרבונוטיים מן היורא ועד הקרטיקון העליון שמקורם בחרמון ובשוליו, וכמעט 40% סלעים וולקניים (בזלת וסקוריה) שמקורם בגולן. שאר הליתולוגיה באגן כוללת אלוביום וקרקעות.



איור 11. פרופיל האורך לאורך הטלוג, בנחל סער ובנחל אבו-סעיד.

ההיסטוריה הגאולוגית של הקניון מלמדת על קילוחים ממלאי אפיק שזרמו בתוך הקניון הקדום ועל התחתרות מאוחרת להם, שהותירה שתי גדות שונות מבחינה ליתולוגית וגיאומורפולוגית (איור 12 ; מור, 2014).



איור 12. התפתחות קניון נחל סער (מור, 2014).

המורפולוגיה של נחל סער הנוכחי צעירה מ 0.1 מ"ש (הגיל הצעיר ביותר שנמדד עד כה עבור בזלת סער, שזרמה באפיק הנחל). בהמשך למחקרו של מור (1986), אנו מציעים מספר שלבים בהתפתחות נחל סער, המתבססים על הגאומטריה הנוכחית של האפיקים, על ההיסטוריה הגאולוגית של צפון רמת הגולן (מור, 1986) ושל עמק החולה (היימן, 1985, 1990), על גיל הבזלות, ועל מדידת שיפועי קילוחי הבזלת באגן.

שלב 1 פרוטו-סער (פליוקן מאוחר-פלייסטוקן מוקדם)

"פרוטו-סער" מכונה הנחל הקדום שהתחתר כ- strike-valley לאורך השוליים הדרומיים של החרמון. לא ברור מתי זה קורה, אבל בשלב הזה עוד אין בזלות בצפון הגולן. בסיס הניקוז הוא עמק החולה שנמצא בשלבי שקיעה מוקדמים, כלומר גבוה יותר מהיום. בבסיס הניקוז מורבדות יחידות קלסטיות כדוגמת קונגלומרט כפר גלעדי ואולי פאזות מוקדמות של קונגלומרט שיאון. אם הייתה לנחל סער מניפה בשלב זה, הרי שהיא קבורה תחת בזלות צעירות יותר. אנו מניחים שהיה קיים נחל כזה מאחר והיה חייב להיות ניקוז כלשהו של מורדות החרמון הדרומיים אל עבר הבקע.

שלב 2 (פלייסטוקן מוקדם)

לפני כ 1.2 מליון שנה, במקביל לשפיעת בזלות דלווה במרכז הגולן, זורמים קילוחים גם בצפון הגולן: הבזלות בגבעת עזי בנות 1.19 מ"ש, בגבעת האם 1.22 מ"ש, ובבניאס 1.04-1.22 מ"ש (מור, 2014). בזלת זו סותמת את רשת הניקוז הקיימת ובכלל זה את האפיק של פרוטו-נחל סער. בעמק החולה מושקעות במקביל יחידות כמו קונגלומרט שיאון שנמצא היום 50 מ' מורם מעל האפיק (גבעת חמרה שלמרגלות החרמון) ובמערב יחידת קונגלומרט Q_1 למרגלות הרי נפתלי (Shtober-Zisu et al., 2008), או קונגלומרט אוזים (סנה וויינברגר, 2003).

שלב 3 (פלייסטוקן תיכון, 0.1-1.2 מליון שנה)

נחל סער שב ומתחתר בגבול בין בזלת הפלייסטוקן התיכון לסלעים הסדימנטרים של החרמון. מאחר ואלו זרמו צפונה וכיסו את האפיק הקדום, ייתכן כי תוואי הזרימה של הנחל החדש הוסט בכיוון צפון מערב. עדות לכך נראית בברך של נחל סער, כקילומטר וחצי במורד הכפר מסעדה. באזור מפל הרסיסים, נחל סער פונה בבת אחת ויוצר ברך של 90 מעלות כלפי צפון מערב. נראה כי מרגע הופעת הבזלות באגן ההיקוות, תוואי הזרימה של נחל סער נקבע לפי מיקומן במגע עם סלעי המשקע של החרמון.

שלב 4 (± 0.1 מליון שנה)

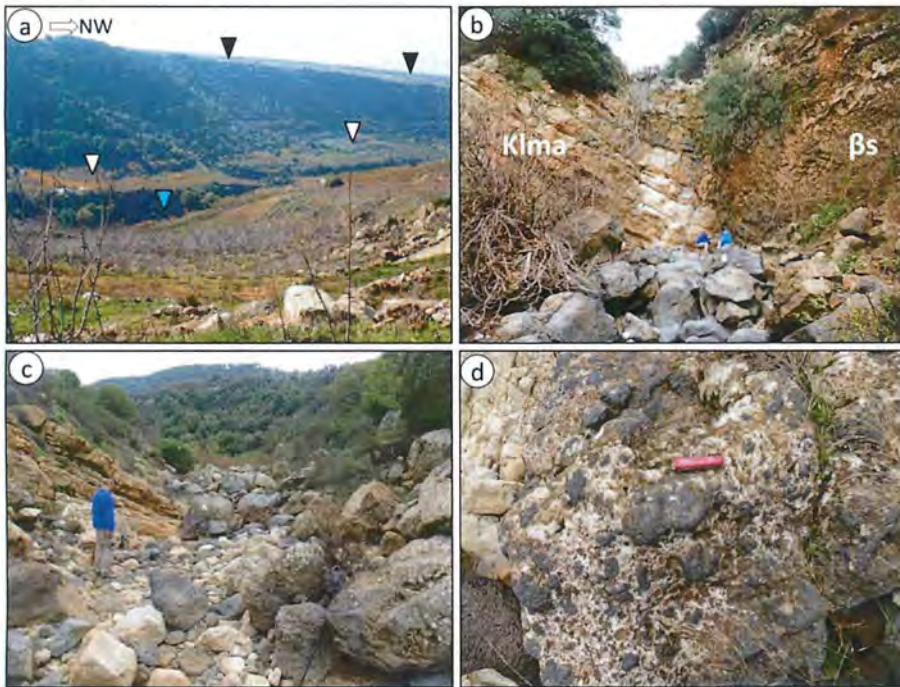
נחל סער שב ומתחת בגבול בין הבזלת לסלעים הסדימנטרים של החרמון תוך יצירת קניון עמוק. בזלת עין זיוון בוקעת ממקורות וולקניים בצפון הגולן, זורמת לעבר הבקע בשיפועים גדולים, ומכסה את בזלות הפלייסטוקן התיכון, שבאזור זה נראות מבצבצות בצפון מערב הגולן. בנוסף, קילוחי בזלת ממלאים את הקניון הפלייסטוקני של נחל סער, וזורמות באפיק עד רמת הבניאס. באיור 12, מור (2014) מציין את הימצאותם של חלוקי נחל סער הקדום קבורים מתחת לבזלת סער. לאחרונה נמצאו מספר מחשופים קטנים של קונגלומרט מלוכד היטב הכולל חלוקי בזלת ($D_{90}=50\text{cm}$) בתוך מטריקס קרבוניטי קשה (איור d13). המחשופים המעטים והמופיע המיוחד של קונגלומרט זה מעלים את האפשרות כי מדובר בשרידים של קונגלומרט נחל סער הקדום.

שלב 5 (צעיר מ 0.1 מליון שנה ועד היום)

נחל סער שב ומתחת בגבול בין הבזלת לסלעים הסדימנטרים של החרמון. באפיק נחשפות יחידות גיריות, חוליות וחואריות מגיל קרטיקון תחתון (איור b13). היחידות האלה סחיפות ופריכות ומעודדות התחתרות מואצת של נחל סער בהווה. בזלת סער נראית כיום כטרסה מישורית עד מדורגת (איור a13), בגבהים של עד 50 מטרים מעל האפיק. השיפועים הגבוהים בקניון נחל סער הנוכחי (8.5%) מעודדים אף הם את הסחיפה.

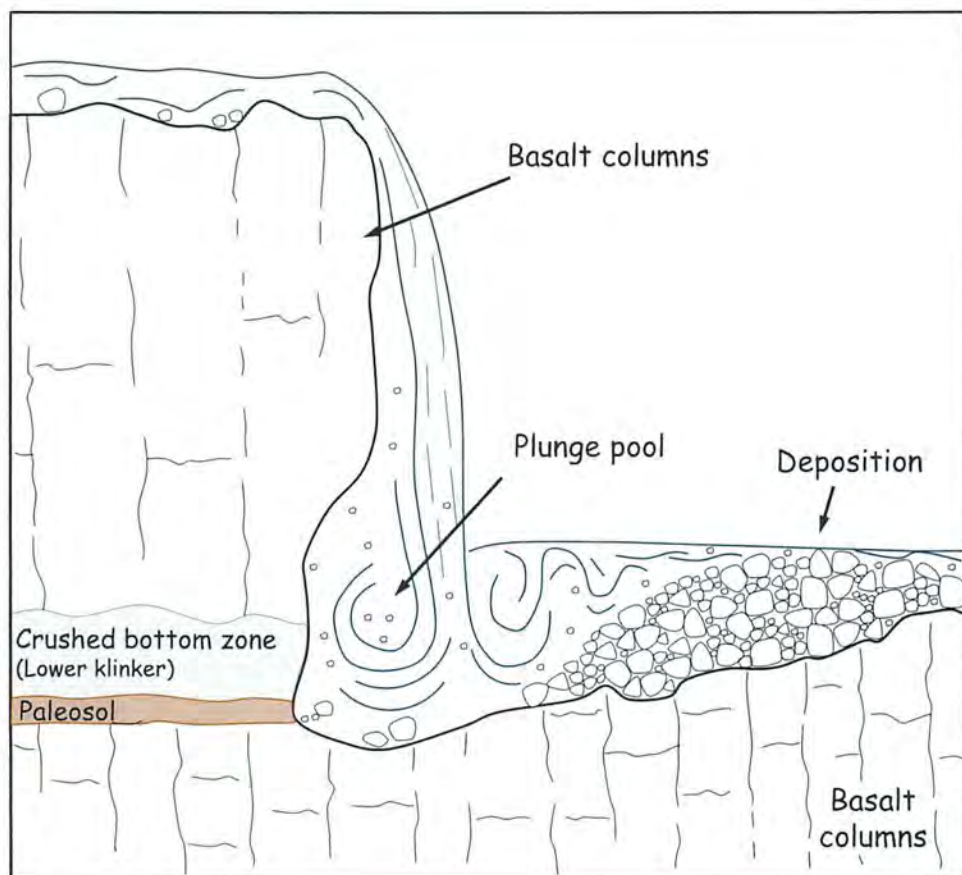
לסיכום:

1. לנחל סער היו תואי זרימה מוקדמים, אולי אפילו דרומיים יותר, שנסתמו בבזלות השונות עד (אולי) כיסוי מוחלט והעלמות של הקניון הקדון.
2. מאז הופעת הבזלות באגן, נחל סער שב וזורם בקו המגע בין הבזלת לסלעים הסדימנטרים.
3. נוכחות סלעים סדימנטרים רכים וקלסטיים פריכים מעודדת האצה בהתחתרות הנחל של היום.
4. באפיק נחל סער הנוכחי אפשר למצוא שרידים לקונגלומרט של נחל סער הקדום.



איור 13. תופעות גאומורפולוגיות בקניון נחל סער. a- שולי קניון נחל סער הקדום (קדום ל- 0.12 מ"ש) מסומן בחיצים שחורים. שיפועים גדולים לעבר הבקע. קילוח ממלא אפיק (בזלת סער) בן 0.1 מ"ש מסומנת בחצים לבנים. הקניון הנוכחי מסומן בחץ כחול; b- מפל הרסיסים בגבול בין סלעי גיר של תצורת מסעדה (אלביאן) ובזלת סער; c- בולדרים גדולים בנויי בזלת וגם גיר במרכז האפיק; d- קונגלומרט בנוי מחלוקי בזלת, מלוכד היטב על ידי קרבונט. ייתכן שזהו קונגלומרט נחל סער הקדום (פלייסטוקן תיכון-עליון).

מפל סער: הגולן מצטיין במפלי מים מן הגבוהים בארץ. מפלים מצויים במסלע הבזלתי וחלקם קשור בהעתקים. החלק העמודוני של הקילוחים הבזלתיים מהווה את "קיר המפל" הקשה ואילו החלק הבלוי של הקילוח (הקלינקר) הוא המסלע הרך, הנסחף באמצעות חתירת הנחל (איור 14). המפל מהווה "נקע" בחתך האורך של הנחל, ומרבית האנרגיה שלו מתרכזת ב"נקע" זה. עבודת המפל מתבצעת בעיקר בבסיסו- המקום שבו מתרחשת פעילות סחיפה באמצעות תנועת המים וגושי הסלע. אורך הברכה מייצג את טווח נסיגת המפל במשך השנים. עומק הברכות בגולן נע בין מטרים בודדים ובין 12 מ' בברכה של מפל נחל זויתן. עמידותו הרבה של המסלע הבזלתי גורמת לכך שקצב נסיגתו אטי ביותר ואיננו ניתן למדידה בעשרות שנים בודדות.



איור 14 חתך סכמתי במפל חתור בבזלת. גם במפל סער ניתן לראות בבסיס המפל את האזור המרוסק של הקילוח (קלינקר) ומתחתיו פלאוסול חרסיתי אדום.

רשימת ספרות

היימן, א. 1985. הגיאולוגיה של רמת הבניאס וצפון עמק החולה תוך הדגש למשקעי טרוורטין. עבודת מוסמך, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

היימן, א. 1990. התפתחות בקע ים המלח ושוליו בצפון ישראל בפליוקן ובפלייסטוקן, דו"ח GSI/28/90, המכון הגיאולוגי.

מור, ד. 1986. הוולקניזם ברמת הגולן. דו"ח GSI/86/5, המכון הגאולוגי.

מור, ד. 2014. הגולן – ארץ הרי הגעש. אקדמון. ירושלים.

סופר, א. 1992. נהרות של אש – המאבק על המים במזרח התיכון. עם עובד, תל אביב.

סנה, ע., וינברגר, ר. 2003. המיפוי הגיאולוגי של גליון מטולה 1:50,000 – השלכות לחלוקה הסטריגרפית ולמערך ההעתקים סביב עמק החולה, דו"ח GSI/7/2003, המכון הגיאולוגי.

שטובר-זיסו, נ., ענבר, מ., גלזמן, ה., קפלן, ד., אורטל, ר. 2013. השפעות סביבתיות וגאומורפולוגיות של מאגרי מים בגולן. בתוך: חנה עמית (עורכת), נחלים ומים בגולן. הוצאת יד בן צבי: 198-215.

Inbar, M. 2000. Episodes of flash-floods and boulder transport in the Upper Jordan river. IAHS Publications 261, 185-200.

Shtober-Zisu, N., Inbar, M. 2005. Downstream effects of river impoundment on hydrological and geomorphological aspects of bedrock rivers (Golan Heights, Israel). IAHS Publications 299, 217-222.

Shtober-Zisu, N., Greenbaum, N., Inbar, M., Flexer, A. 2008. Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity, Dead Sea Rift (Israel). *Geomorphology*, 102(1), 93-104.

מספר עמותה 580008415, מספר תיק מס הכנסה 550008411

החברה הגיאולוגית הישראלית ת.ד. 1239

דוח כספי לשנת 2014

מאזן הכנסות והוצאות החברה הגיאולוגית לשנת 2014

מתאריך 1.1.2014 עד לתאריך 31.12.2014

חשבון ע"ש 240999 בבנק הפועלים (סניף 533)

מחזור הפעילות (הכנסות)

29,010.0		הכנסות מכנסים מדעיים
11,750		השתתפות בכנס החברה 2013 (עכו)
17,260		השתתפות בכנס החברה 2014 (עין בוקק)
34,800		דמי חבר
35,500.0		חסינות בשנת 2014
	13,500	חברות אמריקה
	14,500	חברות תשתית
	7,500	חברות ייעוץ גיאולוגי ואקדמיה
99,310.00		סה"כ מחזור הפעילות

עלות הפעילות (הוצאות)

120,925.00		כנס עין בוקק 2014
51,129.90		ארגון הכנס - חברת איזוגו
24,190.00		ערכת כנס (כנסות, חולצות)
4,500.00		פרסי גרדר וגיאולוגיה יישובית
18,054.00		הפקת חוברות תקצירים וסיוורים
2,500.00		הבאת מרצה אורח
798.85		שונות כנס
1,460.25		ארוזות מפות
14,160.00		שכירות ספינה לסיוור ימי
4,132.00		ביטוח סיוורים
120,925.00		סה"כ עלות פעילות

-21,615.00

הכנסות נטו מפעילות

14,377.70		הוצאות הנהלה וכלליות
3,528.23		הוצאות משרד
1,608.00		רשם העמותות ומס הכנסה
5,888.00		ציוד לסיוורים (ע"ר, מדונות, ברקו)
2,950.00		רואה חשבון שנת 2013
403.47		עמלות בנק

-35,992.70

הכנסות נטו השנה

278,703.94		יתרה בבנק ובקופה קטנה
		העברה משנת 2013
46,667.67		עו"ש בבנק הפועלים
140,521.35		פיקדון שקלי
138.59		מזומן (קופה קטנה)
91,376.33	3,435	חשבון מט"ח - \$26,601.55 שער
242,711.14		העברה לשנת 2015
10,674.97		עו"ש בבנק הפועלים
140,587.44		פיקדון שקלי
72.40		מזומן (קופה קטנה)
91,376.33	3,435	חשבון מט"ח - \$26,601.55 שער

על החתום:

יעל לוינסון
גזברית החברה הגיאולוגית



[Signature]

ישי וינשטיין
נשיא החברה הגיאולוגית

דו"ח מילולי לשנת 2014

בהתאם לסעיף 37 א לחוק העמותות, תש"ס-1980 מתכבדים באת חברי ועד העמותה להגיש לרשם העמותות דין וחשבון בדבר פעילות העמותה כפי שמפורט בתוספת השלישית לחוק האמור:

שם העמותה: החברה הגיאולוגית הישראלית (ע"ר) מספר: 15 - 84 - 000 - 58

1. פעולות עיקריות שבוצעו בשנת 2014:

הפעולות העיקריות שבוצעו ע"י העמותה לצורך קידום מטרתיה במהלך שנת הדו"ח	הסכום שהוצא ע"י העמותה לביצוע הפעולות בהתאם למומיע בדו"ח הכספי
כנס מדעי בעין בוקק	120,925 ₪

2. המבנה הארגוני של העמותה בשנת 2014:

חברי הוועד:

שם חבר הוועד	מספר זהות	תאריך מינוי אחרון
ישי וינשטיין	055576789	29.05.2013
ירון קציר	58474750	26.02.2014
אולנה זלטיקין	311639736	26.02.2014
סיימון עמנואל	309933398	26.02.2014
עמרי דביר	040025207	26.02.2014
אורן פרידווייס	37108719	26.02.2014
יעל לוינסון	36549947	26.02.2014
איאד סועאד	36883825	26.02.2014
יואב נחמיאס	029509536	26.02.2014

חברי ועדת ביקורת:

שם חבר	מספר זהות	תאריך מינוי אחרון
דניאל בוקמן	27916121	26.02.2014
מאיר אבלסון	058212879	26.02.2014
רונית קטל	023978794	26.02.2014

מורשי חתימה:

שם מורש החתימה	מספר זהות	תפקיד
ישי וינשטיין	055576789	נשיא
יואב נחמיאס	029509536	גזבר
רם ויינברג	058035510	נשיא לשעבר

לתשומת לב: תקנון העמותה מאפשר למנות מורשי חתימה שאינם חברי ועד לפי החלטת הוועד הפועל

נושאי משרת המעסיקים בעמותה (מנכ"ל ומי שכפוף לו ישירות, גזבר, דובר (כו')):

שם פרטי/משפחה	מס' זהות	תאור תפקיד
אין		

כמה עובדים הועסקו בעמותה בשנת 2014: 0
כמה מתנדבים התנדבו בעמותה בשנת 2014: 13

3. מירוט תאגידים קשורים בשנת 2014:

פרטים של תאגיד אחר - שמרבית מחברי העמותה או קרוביהם, הם בעלי מניות או שותפים בו(או קרוביהם):

שם התאגיד: אין מספרו: _____

פרטים של תאגיד אחר שנושא משרה בעמותה מכהן בו בתפקיד מקביל לנושא משרה: שם התאגיד: אין מספרו: _____

פרטים של תאגיד אחר בעל זיקה לעמותה: שם התאגיד: אין מספרו: _____

4. השירותים שניתנו לעמותה בשנת 2014 והיוו חלק מרכזי בפעילותה:

תיאור כללי של השירות/קניות המהות חלק מרכזי בפעילות התאגיד (ללא שם נותן השירות)	היקף כספי שנתי של השירות שניתן /הקניה	נותן שירות א/ספק עיקרי א'
ארגון כנס	51,130 ₪	נותן שירות ב/ספק עיקרי ב'
ערכת כנס	24,190 ₪	

2

5. שימוש בכספי תרומות בשנת 2014:

שכום התרומה הכוללת שהתקבלה בתקופת הדו"ח	ייעוד התרומה	השימוש שנעשה בתרומה בתקופת הדו"ח
35,500 ₪	יישום מטרות העמותה והגדלת מספר המשתתפים בכנס	סבסוד עלות כנס לסטודנטים

6. עלויות גיוס התרומות בשנת 2014

לא היו הוצאות לצורך זה.

7. העברת כספים ונכסים ללא תמורה, שאינה מהווה חלק מהפעילות השוטפת בשנת 2014

תיאור הנכס הועבר/הכסף	השווי הכספי של הנכס	שם הגורם אליו עבר הנכס	הקשר בין הגורם הנובער לעמותה
אין			

8. פירוט עסקאות במקרקעין בשנת 2014 - אין

9. עסקאות שביצעה העמותה עם צדדים קשורים בשנת 2014 אין

10. דרישה לתיקון ליקויים על-ידי גורם מוסמך בשנת 2014

אין

11. פירוט אירועים חריגים בשנת 2014: אין

12. תיאור הפריסה הגיאוגרפית של פעילויות העמותה בשנת 2014:

1. עין בוקק - כנס
2. אוניברסיטה עברית, ירושלים - ישיבות ועד

13. פירוט עניין מהותי אחר שאירע בשנת 2014: א. החלטת שינוי התקנון התקבלה באסיפה הכללית והוגשה לרשם העמותות. ב. החל תהליך של בקשה לפטור מס הכנסה של תרומות לפי סעיף 46 לתקנות מס הכנסה.

14. עדכונים (שינויים בעניינים המפורטים לעיל שאירעו מתאריך 1.1.15 ועד להגשת הדו"ח המילולי לאישור האסיפה הכללית):

מס'	עדכון סעיף	בעניין	פירוט העדכון

חתימת חברי ועד העמותה

אנו, הח"מ, ישי וינשטיין ו- יעל לוינסון, שני חברי ועד העמותה, מאשרים בזאת את פרטיו של הדו"ח המילולי לשנת 2014 המפורט לעיל, אשר הוגש לחברי וועדת הביקורת ביום 08.02.2015 ובאשרור על-ידי האסיפה הכללית ביום 25.03.2015.



יעל לוינסון




ישי וינשטיין

Israel Geological Society
P.O. Box 1239
Jerusalem, 91000



החברה הגיאולוגית הישראלית
ת.ד. 1239
ירושלים, 91000
(צ"ר 58000415)

פרוטוקול ישיבת ועדת ביקורת מיום 03.03.2015

אנו חברי ועדת הביקורת בדקנו את תקינות פעולות העמותה ומוסדותיה בהתאם לתפקידינו המפורטים בסעיף 30 לחוק העמותות, התש"ס – 1980. בחנו את פעילות הוועד, עיינו בדוח הכספי ובדוח המילולי של העמותה לשנת 2014 ולחלן הערותינו:

1. היתרות הכספיות של החברה הגיאולוגית מתמעטות עקב תזרים מזומנים שלילי. היקף התרומות התלוי במגזר הנפט והגז קטן ומספר הסטודנטים המסובסדים גדל. על נשיא החברה והגזבר לקבוע דרך לצמצום אי הודאות בתמחור הכנס ומספר הסטודנטים המסובסד.
2. עם קבלת הפטור ממס הכנסה לתרומות לפי סעיף 46 יש לפרסם זאת באתר החברה ואצל תורמים פוטנציאליים חדשים וותיקים.
3. על הוועד הפועל לשקול לקיים באסיפה הכללית דיון על דעות החברים לגבי פעולות נוספות בתחום מדעי האדמה שעל החברה הגיאולוגית לקדם.

מתוך כך אנו ממליצים לאסיפה הכללית:

- א. לאשר את הדוח הכספי לשנת 2014.
- ב. לאשר את הדוח המילולי לשנת 2014.

חברי ועדת הביקורת

ד"ר מאיר אבלסון ת.ז. 058212879

ד"ר רונית קסל ת.ז. 023978794

ד"ר רויטל בוקמן ת.ז. 27916121

