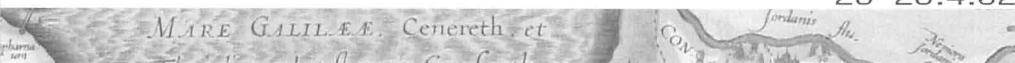




23-25.4.02



ס ע ג ן
2002

כנס החברה הגיאולוגית
הישראלית

מדריך סיורים

עריכה: רויטל קן-תור

הוצא לאור ע"י משרד התשתיות הלאומיות

החברה הגיאולוגית מודה לאוסף לאור מהספרייה הלאומית
על השימוש במפות העתיקות

עיצוב גרפי: סטפני ורותי עיצוב

Cover:

Portions of the Holy Land by Adrichom Christian van, Köln, 1590.
Top oriented to the east.

החברה הגיאולוגית הישראלית מודה למשרד התשתיות והמכון הגיאולוגי
על השתתפותם ותרומתם לכנס השנתי במעגן.

חברי ועד החברה הגיאולוגית לשנת 2002:

נשיא - אמוץ עגנון

סגנית נשיא - רבקה אמית

מרכזת פעולות - רויטל קן-תור

מברית - אורית סיוון

מזכיר - יורם כץ

חבר ועד - אלכס בק

דב גימבורג, מנהל קרן ע"ש ד"ר פרץ גדר ז"ל

רשימת סיורים:

- 7 הבטים טכנולוגיים ולוגיסטיים של מערך ניטור הכנרת ואגן ההיקוות שלה
ד"ר דורון מרקל, פרופ' אורי שמיר, ד"ר אסף סוקניק
- 21 הידרו-וולקניזם וסטרטיגרפיה בצפון הגולן
ישי וינשטיין
- 39 ההיסטוריה של אגם הכינרת ב-40,000 השנים האחרונות
עדויות סדימנטריות וארכיאולוגיות
ניסים חזן, אמוץ עגנון, מודכי שטיין, דני נדל, שמואל מרקו
- 57 הלוע הוולקני בנחל תבור, והמסגרת הטקטונית, הוולקנית,
והסטרטיגרפית של האזור
גדעון בר
- 73 סיור החברה הניאולוגית הישראלית במצד עתרת
(Vadum Iacob)
שמואל מרקו, רוני אלנבלום, אמוץ עגנון, רבקה קלדרון
- 83 סלעי טופה ומי המעיינות והנחלים בצפון החולה
דפנה גור, איתן שש, מרים בר-מטיוס, אריאל היימן
- 112 Sequence Stratigraphy of The Middle and Upper Jurassic
on Mount Hermon
Paul R. May



הבטים טכנולוגיים ולוגיסטיים של מערך ניטור הכנרת ואגן ההיקוות שלה

ד"ר דורון מרקל

נציבות המים, ניטור הכנרת ואגן ההיקוות, w_dmarkel@mail.gov.il

פרופ' אורי שמיר

הפקולטה להנדסה אזרחית, הטכניון, יו"ר צוות היגוי ניטור הכנרת, shamir@tx.technion.ac.il

ד"ר אסף סוקניק

המעבדה לחקר הכנרת, המכון לחקר ימים ואגמים לישראל, assaf@ocean.org.il

הכנרת הינה האגם המתוק היחיד בישראל ומשום כך משמשת כמקור עיקרי להפקת מים שפירים. נפח האגם כ- 4,300 מלמ"ק עם אוגר תפעולי של כ- 750 מלמ"ק. האגם משמש גם לתיירות וקייט, לדיג מסחרי וכבסיס ניקוז לאגן ההיקוות. שטח אגן ההיקוות של הכנרת הינו 2,730 קמ"ר, מתוכם 2,070 בתוך ישראל והשאר בלבנון ובסוריה. באגן ההיקוות אוכלוסיה קבועה של כ- 200 אלף נפש ב- 25 רשויות מקומיות, 3 ערים (קרית שמונה, צפת וטבריה), 6 מועצות אזוריות ו- 16 מועצות מקומיות. אופי אגן ההיקוות הינו בעיקרו חקלאי (מטעים, גידולי שדה, בריכות דגים ופורלים, רפתות ושטחי מרעה). הפעילות האנושית והחקלאית מהווים את מקורות הזיהום העיקריים לכנרת ומהווים איום על איכות המים המופקים ממנה לשתייה. מצב זה, בו אגם המשמש כמקור מים עיקרי בישראל מוקף בפוטנציאל זיהום גבוה, הוביל להקמת מערך ניטור אינטנסיבי באגם ובאגן החל משנת 1969.

ניטור הכנרת ואגן ההיקוות הינו מערך המדידות והבדיקות לקביעת כמות ואיכות המים באגם ובאגן אשר מטרתו לשמר את איכות המים באגם ובאגן, לדווח על "מצב האגם והאגן" בכל זמן נתון, להתריע על שינויים או מגמות בריכוזם של מרכיבים שונים המשפיעים על איכות המים, ולייצר בסיס ידע לקבלת החלטות תפעוליות באגם ובאגן. ההחלטות התפעוליות האפשריות הן קביעת מפלס הכנרת, דילול ואיכלוס של מיני דגים שונים, הטיית מקורות מים שונים אל האגם או ממנו, הקמת מתקני טיפול בביוב וייבוש או הצפה של אזורים שונים באגן ההיקוות.

מערך הניטור באגם ובאגן מבוסס על **דיגום ומדידה של פרמטרים פסיקליים, כימיים וביולוגיים** בתחנות קבועות, במרווחי זמן קבועים ובשיטות דיגום ואנליזה קבועות. באגם קיימות חמש תחנות דיגום קבועות (H, K, D, G, A, איור 1) ואילו באגן ההיקוות קיימות 14 תחנות קבועות (דן, בניאס, גשר בניאס, חצבאני - גשר מציין ברוך, גשר יוסף, גשר הפקק, גשר אריק, משושים, יהודיה, דליות,



אגן היקוות הכנרת ותחנות הניטור

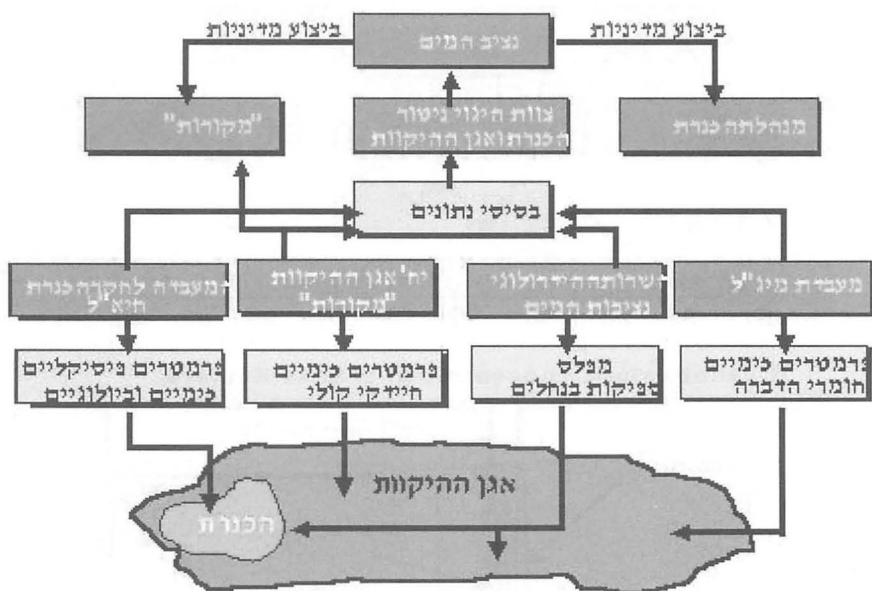


איור 1: הכנרת, אגן ההיקוות שלה, ותחנות הניטור השונות באגן ובאגן.



סמך, עמוד, צלמון וירמוך, איור 1). הפרמטרים הנמדדים הינם רבים ומופיעים בטבלה מס' 1. באגן ההיקוות מבוסס על הערכת עומסי החומרים הכימיים במים המתבצעת על ידי הכפלת ריכוז המרכיב הכימי במים בנפח המים העובר בתחנת הניטור.

נציב המים הוא האחראי לתפעול הכנרת ושמירת איכות המים בה מתוקף חוק המים. **חברת "מקורות"** אחראית לספק את החלק העיקרי של המים המופקים מהכנרת דרך המוביל הארצי ושיחות לצרכנים. **מינהלת הכנרת** אחראית לפיקוח על הפעילות האזרחית באגן ההיקוות ובחופי הכנרת (איור 2). הניטור בכנרת מבוצע ע"י **המעבדה לחקר הכנרת** של חקר ימים ואגמים לישראל, ובאגן ההיקוות ע"י **יח' אגן ההיקוות של "מקורות"**. מפלס הכנרת ושטפי המים בנחלי אגן ההיקוות נמדדים ע"י **השרות ההידרולוגי** וחומרי ההדברה ופרויקט החולה מנטרים ע"י **מעבדת מיג"ל**.



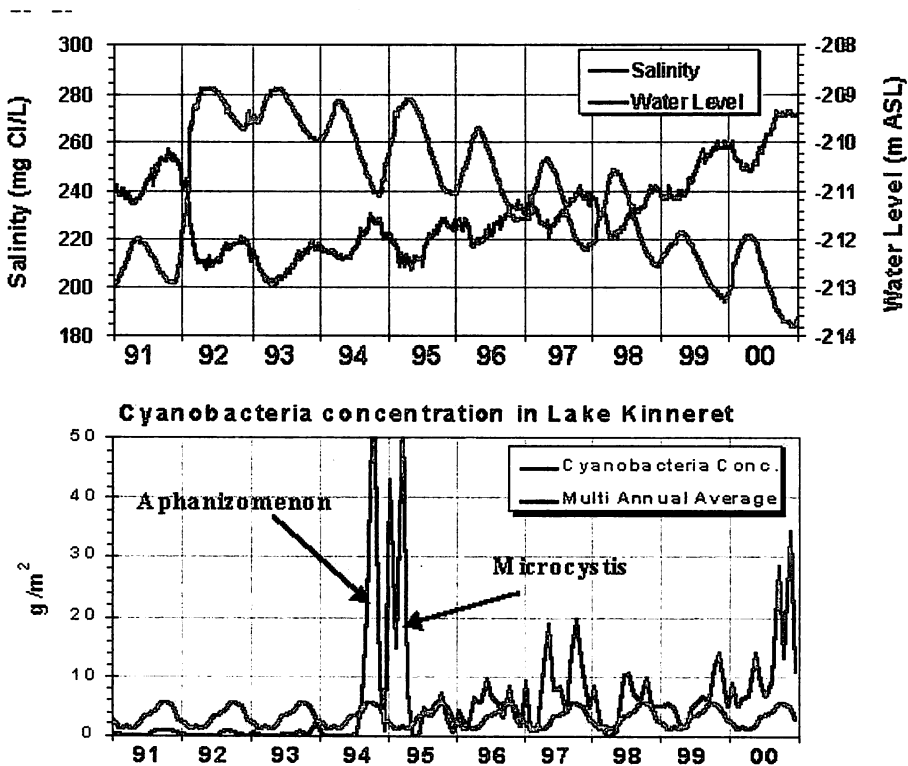
איור 2: מבנה מערך הניטור בכנרת ובאגן ההיקוות. הגופים המבצעים את הניטור הינם המעבדה לחקר הכנרת, יח' אגן ההיקוות של "מקורות", השרות ההידרולוגי ומעבדת מיג"ל. צוות היגוי הניטור אחראי להעברת הנתונים והמידע לנציב המים.

נציב המים הקים את **צוות היגוי הניטור בכנרת ובאגן ההיקוות** ב-1998 כתוצאה מביקורת שונות בשנים 1995-1997, על מנת לרכז ולבקר את פעולות הניטור השונות המתבצעות בגופי

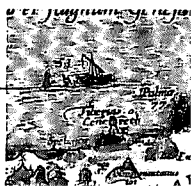


הניטור השונים. תפקידי צוות ההיגוי הינם יצירת מכניזם לתכנון, בקרה ודווח של תוצאות הניטור, הבטחת האינטגרציה בין גופי הניטור השונים, הובלת מהלך לשיפור טכנולוגי ולוגיסטי של הניטור, הנחת הבסיס לשימוש במידע הנצבר במערך הניטור לצורך קבלת החלטות.

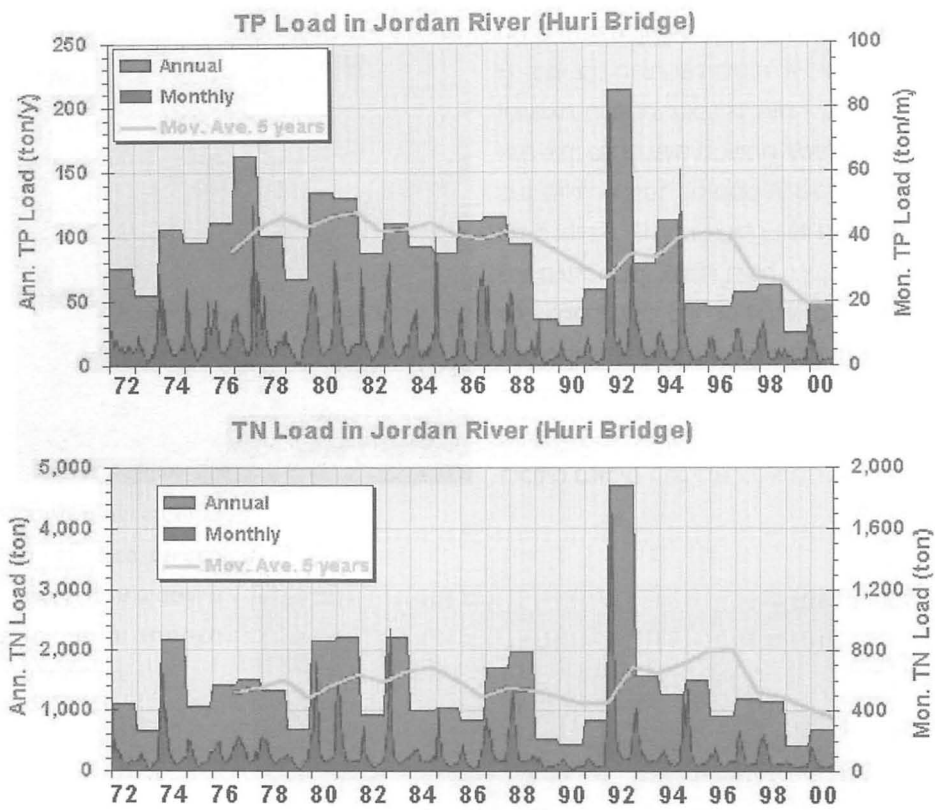
שאיבת יתר ביחס למים הזמינים בשנים 1992-2001 הביאה לירידת המפלס באגם מ -208.90 מ' (מפלס התפעול העליון) למפלסים נמוכים של -213.28 בשנת 1999, -213.80 מ' בשנת 2000 ו-214.87 בשנת 2001 (איור 3). ממצאי הניטור מראים כי **מליחות** האגם עלתה בשנים האחרונות הגיע לשיא של 290 מג"ל כלוריד בקיץ 2001 (איור 3). עליה זו נובעת מירידה בכמות המים ולא מעליה בכמות המלח באגם. על פי רוב החוקרים אין חשש לחדירת תמלחות והמלחה מאסיבית של הכנרת. תפוצת **הציאנובקטריה (אצות הכחוליות)** בכנרת עלתה בשנים האחרונות (איור 3). זוהי תצפית מדאיגה גם אם לא ניתן לקשור אותה באופן ישיר לירידה במפלס.



איור 3: למעלה: מפלס הכנרת (באדום) ומליחות הכנרת (במג"ל כלוריד בכחול) בשנים 1991-2000. למטה: ריכוז האצות הכחוליות החודשי בכנרת (בג' למג בכחול) והריכוז החודשי הממוצע הרב שנתי (באדום). הנתונים באספו ע"י המעבדה לחקר הכנרת של חי"ל, האנליזות הכימיות בוצעו ברובן ע"י מעבדת יח' אגן ההיקוות של "מקורות".



הכנרת מהווה לחץ נוסף על המערכת הביולוגית ועלולה לגרום להפרת האיזון האקולוגי. ממצאי ניטור עומסי הנטריאנטים (בעיקר זרחן וחנקן) במודד הידן אל הכנרת מעידים על ירידה בעומסים בשנים האחרונות (איור 4). ירידה זו מוסברת הן במיעוט השטפונות והן בשיפור הטיפול בביוב וניצולו להשקיה בקולחין.



איור 4: עומסי הזרחן הכללי (למעלה) והחנקן הכללי (למטה) בתחנת גשר חורי (הפקק) בידן בשנים 1972-2000. העומסים החודשיים (בכחול) והשנתיים (באדום) חושבו ממדידות הריכוז של המרכיבים הכימיים (יח' אגן ההיקוות של "מקורות") ונפחי המים העוברים בתחנה (השרות ההידרולוגי). הקו הירוק מייצג מגמה רב שנתית של העומס השנתי.

עקב פעילותו של צוות ההיגוי לניטור הכנרת **תוגבר ושופר הניטור באגם ובאגן** במהלך שלוש השנים האחרונות. נוספו תחנות ניטור חדשות, **שופרו אמצעי המדידה** של פרמטרים שונים והוחל במדידה של **פרמטרים שלא נמדדו בעבר**. במסגרת מהלך רב שנתי להפיכת הניטור לניטור רציף וסינופטי הוכנסה לשימוש **מערכת נגררת לניטור מרחבי** (תמונה 2), הוקם מערך ניטור



לאצות כחוליות ותוצריהן, הוגדל מספר תחנות ניטור האצות בכנרת מ- 1 ל 8, הוחל במחקר לשימוש בחישה מרחוק כאמצעי לניטור כלוחפיל (תמונה 3) והוכנסה לשימוש מערכת LDS אשר רושמת את טמפרטורת עמודת המים והמבנה הפיסיקלי של האגם (תמונה 1). כמו כן, התבצעה בקרת איכות אנליזות והשוואת מעבדות, הוכנו דו"חות אינטגרטיביים אגם-אגן, בבדקו שיטות שונות לשיפור הניטור כגון מדידה רציפה וסינופטית של פרמטרים שונים ומדידת יצרנות ראשונית בעזרת איזוטופים יציבים של חמצן, ונמדדו באגם ובאגן פרמטרים שלא נמדדו בעבר כמו טפילי מעיים (ג'ארדיה וקריפטוספורידיום), מתכות כבדות וחומרי הדברה (פסטיצידים והרביצידים). התוצאות הראשונות של שלושה פרמטרים אלו מראות ריכוזים נמוכים המעידים על איכות מים טובה.

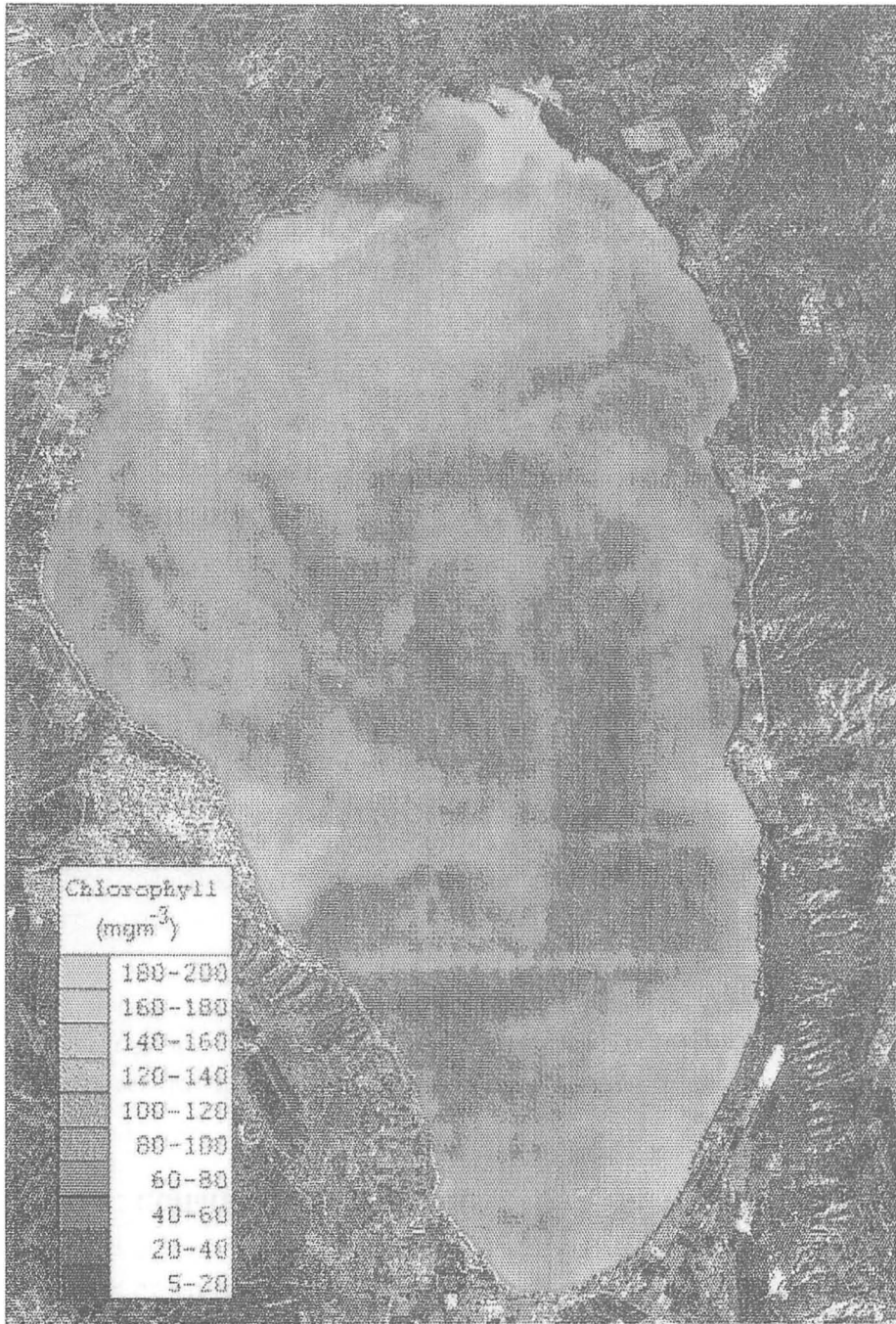


תמונה 1: מערכת LDS במרכז האגם מורכבת משרשרת תרמיסטורים תת ימיים ומתחנה מטאורולוגית.



תמונה 2: מערכת נגררת לניטור מרחבי באגם (Mini Bat). ה"מטוס" הזעיר נגרר אחר הסירה, נושא ציוד מדידה ומשייט לעומק החתך באגם.





תמונה 3: פיענוח "יחודי" של תצלום לוויין מהכנרת המאפשר כימות של רמת הכלורופיל בשכבה העליונה של האגם.



בנוסף לשיפורים השונים במערך הניטור הוחל בפיתוח **מערכת מודלים** לסימולציה של **תרחישי תפעול** שונים לכנרת. מערכת המודלים המבוססת על תהליכים הינה ראשונה מסוגה בעולם ומפותחת בשיתוף פעולה של המעבדה לחקר הכנרת והמכון לחקר המים באוניברסיטת מערב אוסטרליה ובמימון והנחייה של נציבות המים. לאגן ההיקוות עדיין לא פותח מודל תהליכי אך פותחה תוכנה המציגה **כימות גיאוגרפי של עומסי מזהמים** במקורות זיהום ספציפיים (כגון חוות הפורלים, פרויקט החולה, שטחי מרעה ומאגרי קולחים). התוכנה פותחה ע"י חברת DHV MED עבור נציבות המים והיא תיושם במערך התפעול והפיקוח של האגם והאגן.

תחנות הסיור: (ראה איור 1)

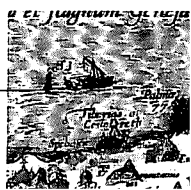
תחנה 1: אתר ספיר

באתר זה ממוקמת המעבדה לחקר הכנרת וכן יח' אגן ההיקוות של מקורות. הדוגמאות המגיעות מהאגם במסגרת הניטור השבועי מועברות למעבדה הממוקמת כאן לאנליזה כימית וביולוגית (ראה טבלה 1). הציוד המעבדתי הינו רב וכולל בין היתר GC-MS, מערכות מיקרוסקופיות למעקב אחר אוכלוסיות, HPLC למדידת פימנטים אצתיים, AA לקטיונים, ספקטרופוטומטר ו FLOW INJECTION לאנליזה של נוטריאנטים ו Carbon Analyser למדידת פחמן אורגני מומס. כמו כן הוכנסו לאחרונה לשימוש מכשירים שונים המודדים פרמטרים שונים בתוך האגם (אינסיטו) כגון פלואורופורב למדידת אינסיטו של כלורופיל וחלוקה לקבוצות של אצות, מערכת נגרת לניטור מרחבי של מוליכות, טמפרטורה ועכירות, LDS למדידת פרופיל הטמפרטורה של עמודת המים בתחנה A באופן רציף ומערכת דיגום ומדידה RUSS למדידת פרמטרים שונים בעמודת המים בתחנה A.

באתר ספיר גם ממוקמות המשאבות של המוביל הארצי הנמצאות בעומק של 100 מ' מתחת לתל כינר. משאבות אלו הינן בעלי כושר שאיבה מכסימלי של 72,000 מ"ק לשעה. המוביל הארצי מספק כ- 350 מלמ"ק בשנה למרכז הארץ, אולם בשנים האחרונות ירד נפח השאיבה לכ- 200 מלמ"ק.

תחנה 2: המעיינות המלוחים בטבחה

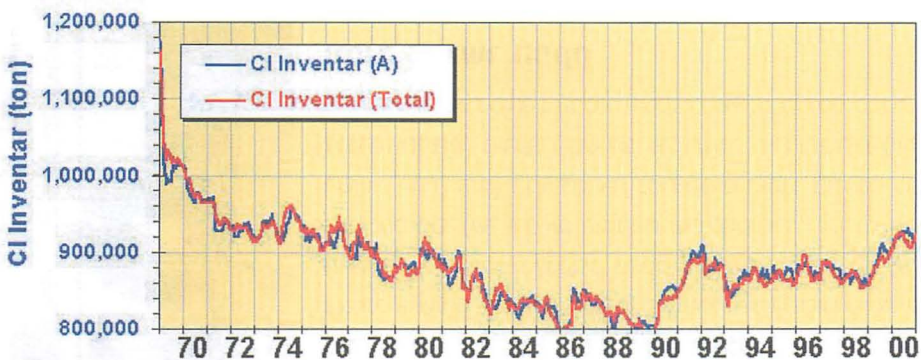
באתר זה נובעים מספר מעיינות מלוחים: עין נור (המורכב משני מעיינות מעיין סרטן עיוור ומעיין מתוק) בעל מליחות ממוצעת של 2500 מג"ל כלוריד וספיקה שנתית של כ- 20 מלמ"ק (איור 6), ועין שבע בעל מליחות ממוצעת של 1250 מג"ל כלוריד וספיקה שנתית של כ 1 מלמ"ק. במקום זה מתחילה תעלת ההמ"מ המטה את מי המעיינות המלוחים לידן הדרומי. רוב מי מעיין





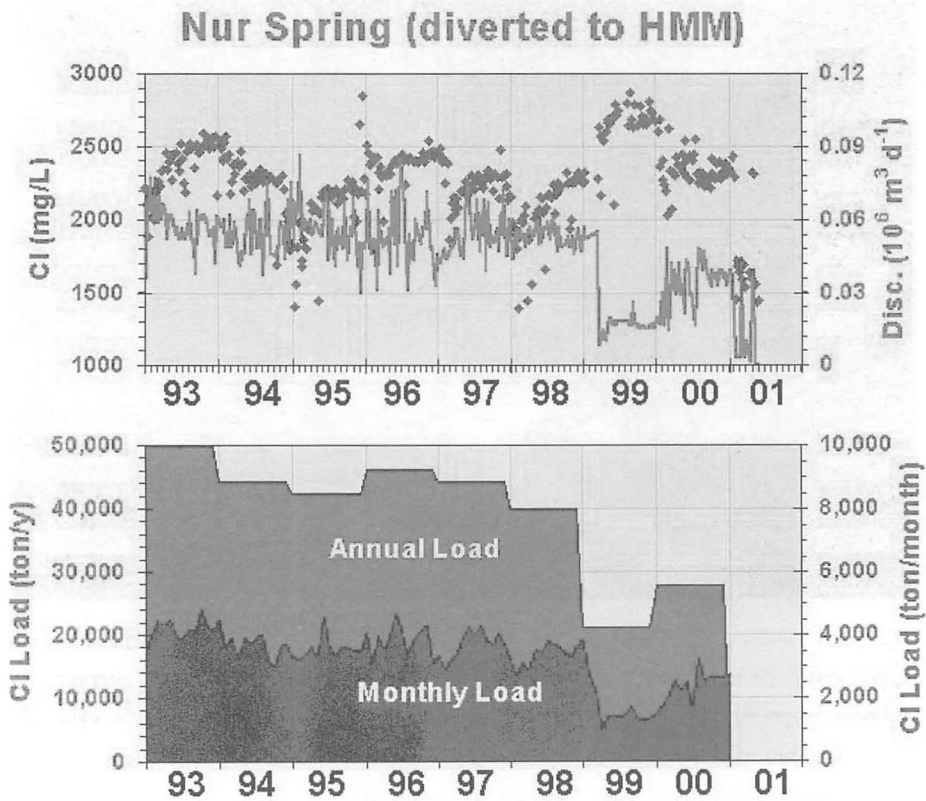
תמונה 4: מעיין נור (טבחיה) גולש לכנרת ביולי 1999.

נור מוסיף למוביל המלוח וחלק ממי מעיין עין שבע מועברים בתעלה לממר ומשם לכנרת. בשנים 1990, 1991, ו 1999 הועברו מי עין נור לכנרת על פי הוראת נציב המים. בעקבות פעולה זו ומיעוט השאיבה בשנים אלו עלה אוגר המלח בכנרת בכ 120,000 טון כלוריד מהאוגר שהתקיים בסוף שנות ה-80 (איור 5). לאחרונה הוחל השימוש ב Diver, מוט חכם המוכנס לקידוח ורושם באופן רציף את השינויים במפלס הקידוח, מוליכות חשמלית וטמפרטורת המים. בסיור בבקר בקידוח כנרת 8 אליו הוכנס Diver באמצע דצמבר 2001.



איור 5: אוגר המלח בכנרת (בטון כלוריד) המחושב על פי המליחות בתחנה A (בכחול) ועל פי המליחות בחמש תחנות תוך התחשבות במיקומן הגיאוגרפי (באדום).

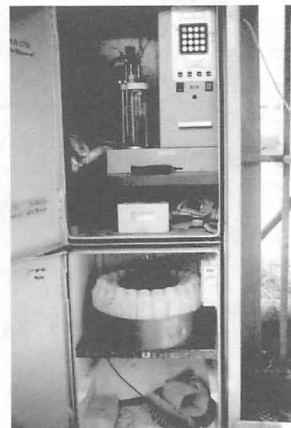




איור 6: למעלה: המליחות במג"ל כלוריד במעיין נור (בכחול) והספיקה המוטה להמ"מ (באדום) בשנים 1993-2000. למטה: עומס הכלוריד במעיין נור (מוטה להמ"מ) חודשי (בכחול) ושנתי (באדום).

תחנה 3: גשר הפקק

בתחנה זו נמצאת תחנת הניטור העיקרית של הירדן לפני כניסתו לכנרת. התחנה מורכבת משילוב של תחנה הידרומטרית (של השרות ההידרולוגי) המודדת את נפח המים העובר בתחנה עם דוגם אוטומטי (של יח' אגן ההיקוות של "מקורות") הדוגם את מי הירדן כל חצי שעה לבקבוק פלסטיק הנמצא במקרר (תמונה 5). כל 6 שעות מתחלף בקבוק כך שכל 4 בקבוקים מייצגים דוגמה אינטגרטיבית יומית. חישוב העומס היומי מתקבל מהכפלת הריכוז היומי בדוגמה האינטגרטיבית בנפח המים היומי שעבר תמונה 5: דוגם אוטומטי המופעל בתחנות הניטור באגן ההיקוות. כל חצי שעה נדגמת דוגמת מים וכל 6 שעות מוחלף בקבוק הדיגום. כל ארבעה בקבוקים מייצגים דוגמה מורכבת יומית.



בתחנה. איור 4 מציג את עומסי הזרחן והניטראט אשר עברו בתחנת גשר הפקק בשנים 1970-2000. במהלך ינואר 2002 הוחל שימוש באלקטרודות המודדות באופן רציף את ה-pH, החמצן המומס, הטמפרטורה, המוליכות החשמלית, העכירות, הניטראט והאמוניום במי הירדן. הנתונים מצברים ב-Data Logger הממוקם ליד האלקטרודות וממנו ניתן להוריד את הנתונים למחשב נייד או לשלוח אותם טלמטרית למחשב נייד.

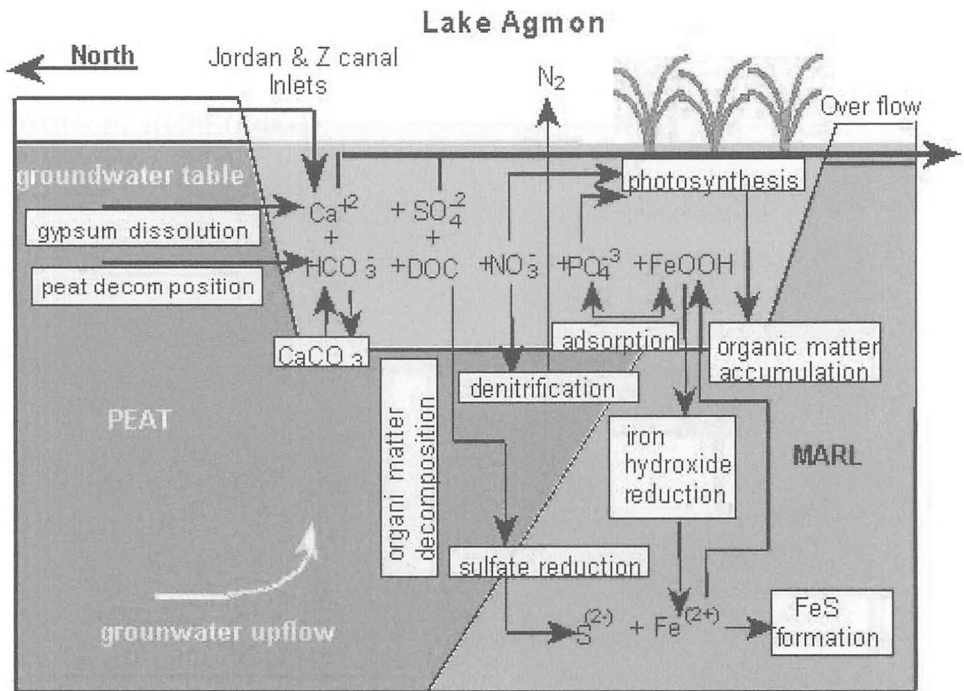
תחנה 4: אגמון החולה



תמונה 6: אגם אגמון בשנת 2000. האגם הינו ביצה מתוקה ורדודה המהווה מרכיב עיקרי בפרויקט החולה אשר נועד לצמצם את ניקוז הנוטריאנטים מכבול החולה לכנרת.

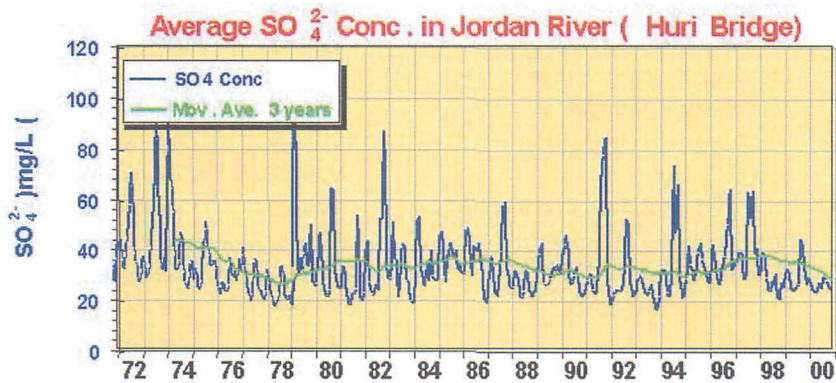
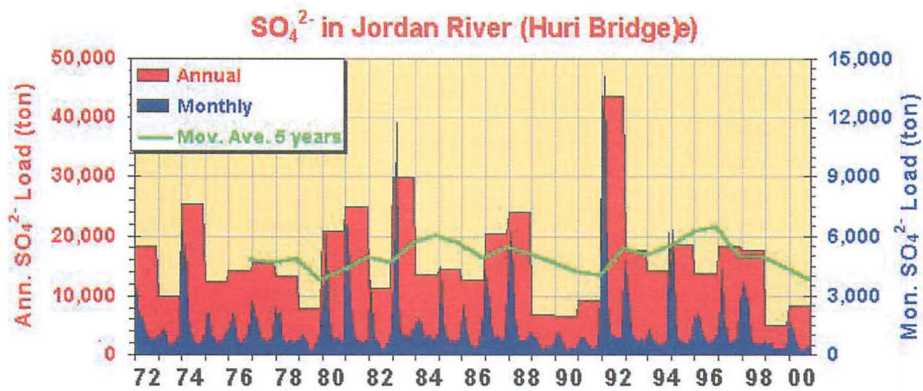
בתחנה זו נראה את פרויקט החולה אשר נועד למנוע שטיפת ניטראט מכבול החולה לכנרת במקביל לשיקום קרקעות חקלאיות ויצירת אזור תיירות אקולוגית אשר יבטיח חלופת הכנסה לבעלי הקרקעות אשר הוצפו במים. נציבות המים מממנת ניטור בפרוייקט החולה אשר מטרתו להעריך את התהליכים הביוגיאוכימיים בחולה (איור 7) וכמות החומרים הכימיים הנוספים או מסולקים ע"י הכבול המוצף. מחקרים שונים הראו כי האגמון (גוף המים המוצף) קולט כ- 3 - 5 טון חנקן ופולט טון זרחן בשנה. השינוי המשמעותי של האגמון לגבי מי הירדן הינו בפליטה של כ- 2000 טון סולפאט בשנה הנובע מהמסת גבס משני בכבול. בשנים 1994-1998 נוספו 2000 טון אלו לעומס הגופרית בירדן אולם החל משנת 1999 נותקה מערכת פרויקט החולה מהכנרת (הטייה למאגר עינן) ועומס הגופרית המגיע לירדן מהחולה ירד באופן משמעותי (איור 8).





איור 7: תרשים סכמטי של התהליכים הביוגיאוכימיים העיקריים באגם אגמון (פרוייקט החולה) על פי מרקל, Markel et al., 1998 ; 2000.





איור 8: למעלה: עומס הסולפאט החודשי (בכחול) והשנתי (באדום) בתחנת גשר הפקק בירדן. למטה: ריכוז הסולפאט החודשי הממוצע (בכחול) וממוצע נע של 3 שנים (בירוק) בתחנת גשר הפקק בירדן.



טבלה 1: פרמטרים כימיים, ביולוגיים ופיזיקליים הנמדדים במסגרת מערך הניטור בכנרת ובאגן ההיקוות.
לכל פרמטר מצויינת תדירות הדיגום באגן ובאגן.

Symbol	Parameter	Frequency in the Lake	Frequency in the Basin
Chemical parameters			
Cl ⁻	Chloride	Weekly	Daily/weekly ⁽¹⁾
Alk	Alkalinity	bi-weekly	Daily/weekly
SO ₄ ²⁻	Sulfate	bi-weekly	Daily/weekly
Na ⁺	Sodium	n.m. ⁽²⁾	Daily/weekly
K ⁺	Potassium	n.m.	Daily/weekly
Mg ²⁺	Magnesium	n.m.	Daily/weekly
Ca ²⁺	Calcium	bi-weekly	Daily/weekly
DIC	Dissolved Inorganic Carbon	bi-weekly	n.m.
TOC	Total Organic Carbon	bi-weekly	n.m.
H ₂ S	Sulfide	bi-weekly	n.m.
SiO ₂	Silicate	bi-weekly	Daily/weekly
NO ₃ ⁻	Nitrate	Weekly	Daily/weekly
NO ₂ ⁻	Nitrite	Weekly	n.m.
NH ₄ ⁺	Ammonium	Weekly	Daily/weekly
DKN	Dissolved Kjeldahl Nitrogen	Weekly	Daily/weekly
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen	Weekly	Daily/weekly
TON	Total Organic Nitrogen	Weekly	Daily/weekly
TN	Total Nitrogen	Weekly	Daily/weekly
DP,SRP	Dissolved phosphorus (orthophosphate)	Weekly	Daily/weekly
TDP	Total Dissolved Phosphorus	Weekly	Daily/weekly
TP	Total Phosphorus	Weekly	Daily/weekly
TSS	Total Suspended Solids	Weekly	Daily/weekly
Turb	Turbidity	Weekly	Daily/weekly
PH	PH	Weekly	Daily/weekly
DO	Dissolved Oxygen	Weekly	n.m.
Cond	Electrical Conductivity	n.m.	Daily/weekly
Biological parameters			
Coli F.	Coli Fecal	Monthly	Daily/weekly
Chlph.	Chlorophyll A	Biweekly	n.m.
P.P.	Primary Production	Biweekly	n.m.
Phyto	Phytoplankton (Biomass and species)	Biweekly	n.m.
Zoo	Zooplankton	Biweekly	n.m.
Fish	Total Fish Biomass	Bimonthly	n.m.
Physical parameters			
Temp	Water Temperature	Weekly	Daily/weekly
Seki	Seki Depth	Weekly	n.m.
LP	Light Penetration	Biweekly	n.m.
AT	Air Temperature 10 minutes	10 minutes	n.m.
SWT	SWT Surface Water Temperature	10 minutes	n.m.
RH	Relative Humidity	10 minutes	n.m.
LI	Light Intensity	Hourly	n.m.

(1) Daily/weekly means that in some of the basin stations the parameter is measured daily and in some weekly.

(2) n.m. - the parameter is not measured in the Lake or the watershed.

הידרו-וולקניזם וסטרטיגרפיה בצפון הגולן

ישי וינשטיין

המחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בר-אילן

מבוא

הוולקניזם של צפון-מזרח ישראל, כולל זה של הגולן, ממוקם בקצהו הצפון-מערבי של השדה הוולקני הגדול חצרת א-שאמה. שדה זה, ששטחו למעלה מ 40,000 קמ"ר, הינו אחד מהשדות הוולקניים של מערב חצי האי ערב המלווים את בקע ים-סוף לאורך ההיסטוריה הטקטונית שלו, החל בתקופת האוליגוקן. לשדה מתאר מאורך בכיוון צפון-מערב, במקביל לשקע של ואדי סירחאן. הפעילות הוולקנית בא-שאמה החלה במיוקן התחתון (25-20 מליון שנה, אגן דמשק וצפון-מזרח ירדן) ונמשכה עד אלפי השנים האחרונות.

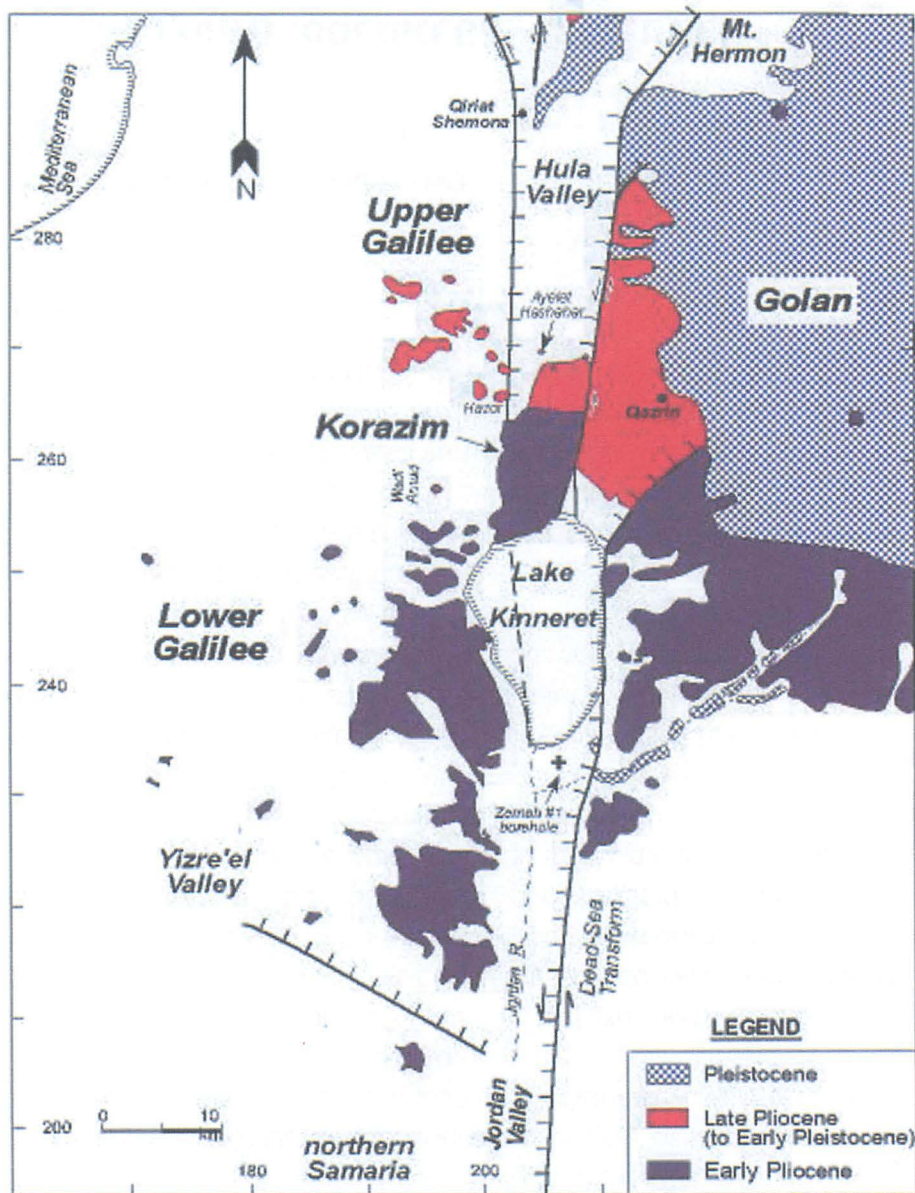
בדרום הגולן מכסים קילוחי בזלת מגיל פליוקן תחתון (איור 1) חתך סדימנטרי מגיל אאוקן (ימי) עד פליוקן תחתון (יבשתי). לכיסוי עובי אופייני של מספר עשרות מטרים, והנוף הנוצר הינו בעל אופי רמתי. אופי רמתי יש גם למרכז הגולן (רמת יהודיה), שם השטח נטוי לכיוון הכנרת בדרום-מערב. הבזלות כאן הן בעיקר מגיל פליוקן עליון (איור 1), והעובי המצטבר הינו של יותר מ 140 מטר. תחתית החתך הוולקני אינה חשופה.

בצפון הגולן, האזור בו מתמקד הסיוֹר, מכסים פירוקלסטים ובזלות מגיל פלייסטוקן (צעירים ממליון שנה; איור 1) חתך סדימנטרי מגיל אאוקן וקרטיקון. בשוליים המערביים של האזור, מאזור נחל עורבים ודרומה, מופיעים אף סלעים מגיל פליוקן עליון. וולקניזם קדום יותר, מגיל פליוקן תחתון, נמצא רק באתר אחד באזור (הר רם, 3.5 מליון שנה), וסלעים סדימנטריים מגיל מיו-פליוקן כדוגמת אלה המופיעים בדרום הגולן ובגליל התחתון לא אותרו כלל באזור. החתך הוולקני עבה יחסית בדרום האזור ומידבק לכיוון מורדות החרמון ושולי הגולן הצפון-מערביים (מטרים עד עשרות מטרים), שם אף מצויים 'חלונות' סדימנטריים.

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

החלוקה ליחידות מיפוי (תצורות ופרטים) באזור נעשתה בהתבסס על מורפולוגיה ויחסי שדה (מור, 1973, 1987א,ב) ונתמכה על ידי קביעות גיל בשיטת אשלגן-ארגון (מור, 1986). מור (1986), 1987א,ב) מחלק את החתך ברמת הגולן לשלוש תצורות (איור 2): תצורת בזלת הכיסוי (פליוקן





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



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

איור 2: סטרטיגרפיה של הבדלות בגולן לפי מור (1986), סנה (1998) ווינשטיין (1997, 1998). יחידות המסומנות בכוכבית מופיעות אצל וינשטיין (1997, 1998) בלבד.

מוקדם), תצורת אורטל (פלייסטוקן מוקדם) ותצורת גולן (פלייסטוקן מאוחר). במאמר מאוחר יותר (Mor, 1993) נוסף לחתך הגולני אתר של וולקניזם מגיל פליוקן עליון (תצורת משכי) בדרום הגולן.

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

בזלת דלווה - פרט בזלתי של תצורת אורטל. מופיע בדרמ'ע האזור; באזור הסיור מזהים מספר מבני פליטה של יחידה זו.

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

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

סקוריה אודם - יחידת סקוריה, הבונה את מבני ה cinder cones של צפון ומזרח רמת הגולן. טוף אביטל - יחידת טוף, המצויה רק בקומפלקס של הרי אביטל-בנטל. לפי מור, מחולקת לשני פצאיסים: 1. פצאיס מרום גולן - טוף שחור, גס גרגר, עם בלוקים בזלתיים גדולים, בקרבת ההר; 2. פצאיס קוניטרה - טוף אגמי דק צהוב-אפור, ללא בלוקים.

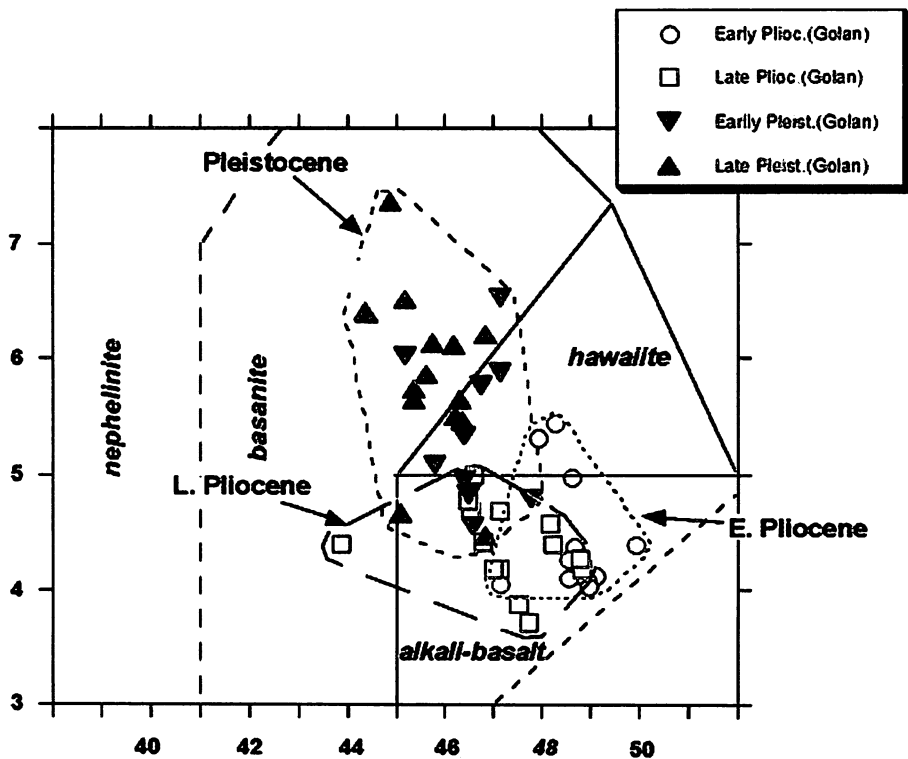
בזלת עין-זיון - קילוחי בזלת צעירים שפרצו את חרוטי סקוריה אודם; בד"כ מכוסים בחורש של אלון מצוי ואלון תולע.



לפי וינשטיין (1992), הבזלת עליה יושב קיבוץ עין זיון (מדרום לאביטל) הינה עתיקה יחסית וקדמה למבנה הסקוריה ("בזלת הקיבוץ", אזור 2). יתר הקילוחים צעירים למבנה הסקוריה. באזור בריכת רם מופיעים לפי מור (1986, 1987) מספר פרטים נוספים: בזלת כרמים - מופיעה ממוודות הר כרמים ועד מצפון לבריכת רם; מתאפיינת במופע ספרואידי ובצבע אפור תכלכל.

טוף בריכת רם - נמצא מסביב לבריכת רם; עתיר קסנוליטים ומגהקריסטים מעטפתיים וקרומיים. בזלת סער - הבזלת הצעירה באזור; מכסה את טוף בריכת רם; זרמה דרך אפיק נחל סער עד לבניאס.

בסדרת עבודות גיאוכימיות (Weinstein, 1998; Weinstein et al., 1994; Brenner, 1979) נמצא כי כמעט כל הסלעים הוולקניים הפלייסטוקניים בצפון הגולן (כולל פרטי תצורת גולן ובזלת דלווה) הרכבים בסניטיים (basanites) עד הוואיטיים (hawaiites) דומים למדי (אזור 3). בניגוד לכך, בזלות הכיסוי של דרום הגולן ובזלות הפליוקן העליון של רמת יהודה ושולי הגולן המערביים הינן בעיקר בעלי הרכב אלקלי-בזלתי (alkali-basalt, אזור 3). לאור הבדלים אלה, מוצע כאן להציב את כל בזלות צפון הגולן הפלייסטוקניות תחת קורת גג אחת של 'תצורת גולן' (טבלה 1). בתוך



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



יחידה זו ניתן להשאיר את החלוקה לפרטים כפי שהציע מור (1986, 1987), אך בתוספת פרט אחד - 'בזלת הקיבוץ' (איור 2; ראה תחנה מס' 1).

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

מטרת הסיור העיקרית הינה דיון מחודש בדרך הווצרותם של מספר מבנים פירוקלסטיים בצפון הגולן תוך שימת דגש על גזמה הידרו-וולקנית. מטרה משנית הינה דיון במיפוי אזורים וולקניים והצעה אלטרנטיבית לחלוקת החתך הוולקני הפלייסטוקני באזור.

תחנות

1. הר שיפון (נ.צ. 2222/275)

בתחנה זו נתודע לחלק העיקרי של היחידות הוולקניות באזור האביטל-דלווה ונלמד את יחסי השדה ביניהן. הר שיפון הינו מבנה cinder cone השייך ליחידת סקוריה אודם. הר שיפון ממוקם ממערב לשורה המערבית של התילים, ומאפשר תצפית נוחה אל שתי שורות המבנים. מצפון-צפון מערב לנו רכס דלווה, המתמשך בכיוון צפון, והכולל מספר מבני פליטה של בזלת דלווה וסקוריה שיבן (איור 4). מצפון מתנשאים הר אביטל, בנטל ומספר מבני סקוריה קטנים אחרים, כולם חלק מהשורה המערבית של מבני סקוריה אודם (איור 4). את המשכה הדרומי של השורה ניתן לזהות בהר יוסיפון (מזרח-דרמ'ז). את מבני השורה המזרחית ניתן לזהות בדמות רכס החזקה ותל ע'סניה (מזרח) ובשורה של החרמונית - הר ודה מצפון.

במסגרת תחנה זו נתרכז בקומפלקס של הר אביטל-בנטל. בינינו לבין הקומפלקס משתרע תא-שטח נמוך יחסית, מכוסה בדרך כלל בקרקע (וכרמים). זוהי בזלת מוויסה. בקומפלקס עצמו ניתן לזהות מספר אלמנטים מורפולוגיים (איור 4): א. שתי הפסגות הדרומיות (הר אביטל) ופסגה צפונית (בנטל), תלולות יחסית - מבני סקוריה אודם, ב. אזור המתמשך מהפסגה המערבית של האביטל בכיוון צפון-מערב (אל הבנטל) - מתון יחסית, בנוי טוף (ייקרא להלן: 'סוללת הטוף'; תמונה 1), ג. אזורים מוגבהים ומשטחים יחסית (כתפיים), הצמודים למבני הסקוריה ומכוסים בחורש אלונים. אלה הן בזלות עין זיון. את יחסי השדה בין הסקוריה לבין הטוף לא ניתן להגדיר מהנקודה בה אנו נמצאים. לעומת זאת, ניתן לראות בבירור, כי בזלות עין זיון פורצות את מבני הסקוריה, ועל כן מאוחרות להם בזמן. דוגמא דומה ניתן לראות למרגלותיו הצפוניים של התל עליו אנו עומדים, שם פורץ קילוח דומה את מבנה הסקוריה של הר שיפון. מדרום לפסגות האביטל (צפמ'ע לנו) נמצא תא שטח נוסף המורם מעל ל'בקעת מוויסה', עליו ממוקם קיבוץ עין זיון, והמכוסה גם הוא בחורש אלונים צפוף. Weinstein et al. (1994) קוראים ליחידה זו 'בזלת הקיבוץ' (ראו בהמשך). מור (1986, 1987) כולל בזלת זו בפרט בזלת עין-זיון.





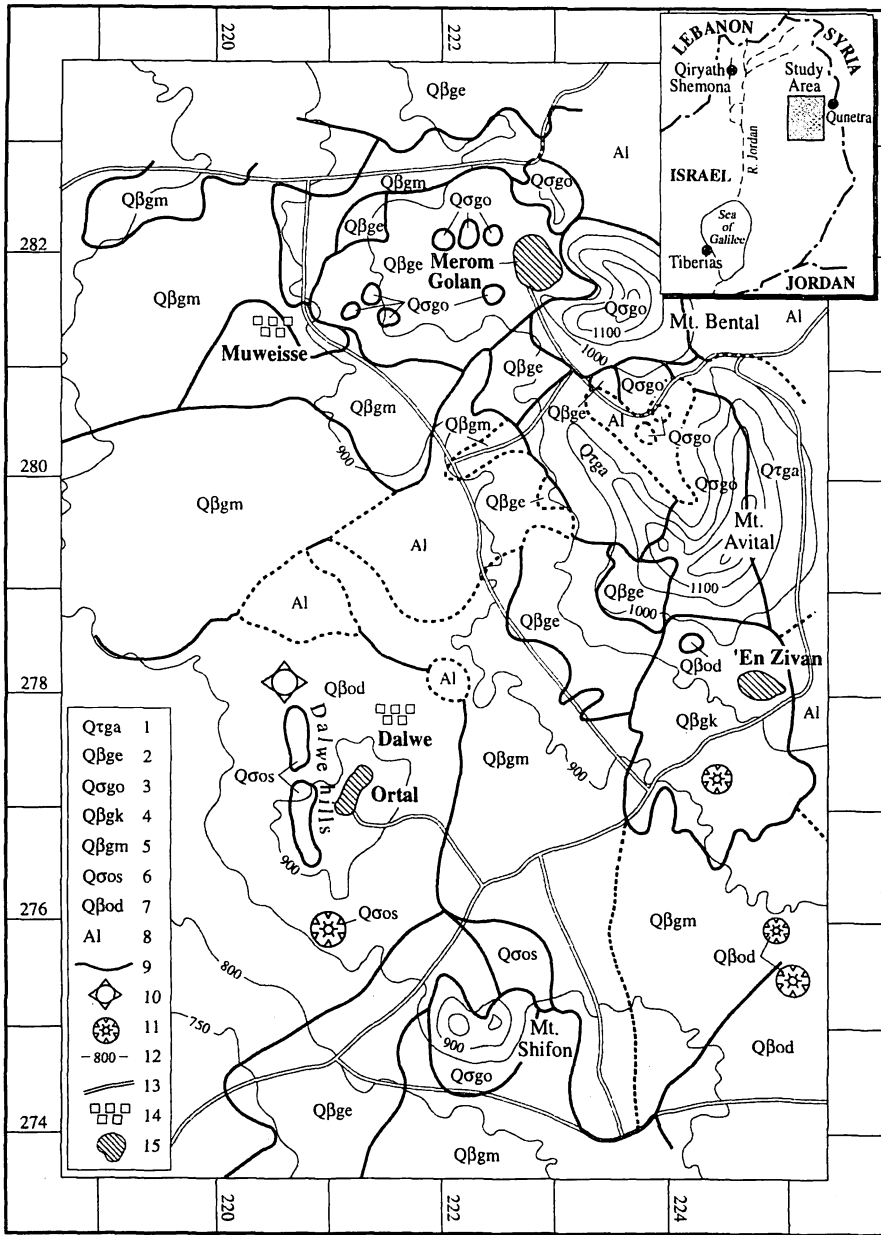
תמונה 1: בקעת האביטל, סוללת הטוף (מערב) והפסגה המערבית (סקוריה). באופק מימין נראה הר שיפון (תחנה מס' 1).

מנקודת התצפית שלנו נוכל לראות, כי בזלת זו אינה פורצת את מבנה הסקוריה של האביטל, ונראה כי המבנה מאוחר לה בזמן. לבזלת הקיבוץ מאפיינים פטרוגרפיים-כימיים, הדומים לאלה של בזלת דלווה (Weinstein et al., 1994) יותר מאשר לפרטים צעירים אחרים של תצורת גולן. ריכוזי ה- MgO ויסודות קומפטיביליים נמוכים יחסית, ותכולת הפנוקריסטים נמוכה יחסית. על כן, לא מן הנמנע כי בזלת זו שייכת לפרט בזלת דלווה.

בהמשך הסיור (תחנה 3) נראה, כי אזור האביטל היה גבוה מעל סביבותיו עוד לפני הווצרות בזלת מוויסה. מוצע, כי היה זה מרכז התפרצות כבר בתקופת בזלת דלווה (פלייסטוקן מוקדם), וכי הוא נמצא על המשכה הצפוני של שורת מבני דלווה של קלע אל-חכים (ממזרח ליוסיפון) וקלע א-טוויל. שורה זו מקבילה לקטעי שורות אחרות מתקופה זו (מור, 1986), כמו גם לשורות המכרות של הפלייסטוקן המאוחר. יש לציין, כי גם ברכס החזיקה, המיוחס לפרט עין-זיון של תצורת גולן (מור, 1986, 1987 א), מופיע חתך גילים מהפלייסטוקן המוקדם (1.3 מליון שנה) ועד לפלייסטוקן המאוחר (0.4 מליון שנה, Weinstein, 1998).

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





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



2. עיקול בנטל (נ.צ. 2234/2813)

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

שני סוגי המשקעים מייצגים סוגי התפרצויות שונים. שכבות הסקוריה מייצגות ארועי התפרצות אקספלוזיבית בעלי עצמה חלשה עד בינונית (סטרומבוליאנית). בארועים שכאלה, כמות הגזים במגמה נמוכה יחסית, המגמה אינה עוברת קריעה לרסיסים קטנים (פרגמנטציה), וחתיכות המגמה עתירות הגז מועפות בצורה בליסטית, כשלחלקן מוקנה צורה הידרו-דינמית (פצצות, תמונה 2). ברוב המקרים, כמו גם במקרה הנוכחי, בונים התוצרים מבנה של cinder cone. שכתות הסוף מייצגות ארועי פיצוץ עזים, בהם עוברת המגמה פרגמנטציה, ובהם סלע הסביבה גם הוא מרוסק וצף עם חומרי הפיצוץ (שברי הסלע המזוותים). הסיבה לפיצוץ עז שכזה קשורה לכמות גבוהה של גזים (בעיקר מים) במגמה. המים יכולים להיות מגמתיים (תופעה, הקשורה בעיקר



תמונה 2: ברקציה טופית בין שני אפקי סקוריה בצלע הדרומית של הר בנטל. גודל הפצצה הוולקנית שבתמונה כ 2.5 מ'.



לאזורי הפחתה) ולייצר התפרצות פליניאנית. במקרים אחרים יכולים המים להיות קשורים לפני השטח (מטאוריים - מי תהום או אגם, או מי ים), ולייצר התפרצות הידרו-וולקנית. המקרה שלנו קשור, ככל הנראה לאפשרות השניה, כפי שנראה בהמשך.

סלעי הטוף מופיעים כשכבה אחת בין שכבות הסקוריה, קרוב לראש החתך. במורד הדרך ניתן להבחין כי על פני השטח מופיעה שכבת טוף דומה, המכסה באי התאמה את מבנה הסקוריה. נראה על כן, כי החתך בהר בנטל מתעד לפחות שני ארועי פיצוץ הידרו-וולקניים עזים, האחרון שבהם לאחר סיום בניית ה cinder cone. יש לציין, כי שכבות טוף לא נמצאו על פני המדרונות הצפוניים של הבנטל. עובדה זו תידון בהמשך הסויר.

נקודה מעניינת נוספת היא, שאין אפקי קרקע בין שכבות הפירוקלסטים, עובדה המעידה על בניית המבנה ברצף ארועים וולקניים, ללא הפסקות ממושכות.

3. הר אביטל - פסגה מערבית וסוללת טוף מערבית (J.V. 2240/2793 TU 2231/2807)

בתחנה זו נכיר את מבנה ה Cinder Cone הסטרומבוליאני של דרום האביטל ואת יחידות הטוף המכסות אותו והנמצאות מצפון לו.

אנו נמצאים באוכף טופוגרפי, בין שתי הפסגות הדרומיות של האביטל. זוהי נקודת הפריצה של קילוח אביטל (בזלת עין זיון), אותו ניתן לראות משתפל מערבה בשתי מדרגות. בצד הדרך העולה אל הפסגה המערבית נוכל להכיר את הסקוריה של הר אביטל - שברי סלע וזיקולרי שחור עד אדמדם בגודל של מספר ס"מ עד מספר עשרות ס"מ. בחתך יש גם הרבה חומר דק (מ"מ), חלקו ראשוני וחלקו תוצר בליה של סלעי הסקוריה. בדרך המיצוק, היוצאת מהאוכף לדרום-מזרח, נבחין בטוף מלוכד חסר שיכוב ועתיר חלקיקים מזוותים (ברקציה טופית), הדומה לזה בו פגשו בהר בנטל והמכסה את הסקוריה באי-התאמה, ובעובי משתנה מאפס למספר מטרים. בהמשך דרך המיצוק (צלע דרומית של הפסגה המזרחית, לשם לא נגיע בסיור הנוכחי) מכוסה הברקציה הטופית בטוף משוכב דק ומעליו שכבות לפילי (סקוריה דק) עם מעט פצצות. נתחיל ללכת במורד כביש האביטל בכיוון צפון-צפון מערב, על שיפולי הפסגה המערבית. במרחק של כ 100 מ' מהאוכף, מתחיל להתגלות טוף משוכב דק ומלוכד, המכסה באי התאמה את המדרונות הסקוריה. בהמשך צפונה, מתחלפים מדרונות מבנה הסקוריה בסוללת הטוף, המשתפלת בשיפוע מתון בכיוון צפ'-צפמ"ע. סוללת הטוף מורכבת מחילופי שכבות של חומר דק. משרעת ההרכבים נעה בין חילופי טוף וטוף-לפילי משוכבים דק לשכבות ברקציה טופית עתירת פרנגמנטים בזלתיים בגודל משתנה (ממ"מ ועד כמעט מטר) וחסרת שיכוב פנימי. שכבות הברקציה הטופית מלוכדות כאן באופן חלקי בלבד, עוביין אינו עולה על מספר עשרות ס"מ, וניכר שהן שונות מאלה בהן צפינו בשתי התחנות הקודמות. בשונה מהאתרים הקודמים, אין כאן כלל חומר סקוריאי ולא פצצות. במעקב אחר שכבות הטוף ניתן להבחין, כי עובי חלק מהשכבות משתנה בצורה מקומית, עובדה המעלה שאלות באשר לאופן ההרבדה של החומר, ואשר תידון בתחנה הבאה.



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

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

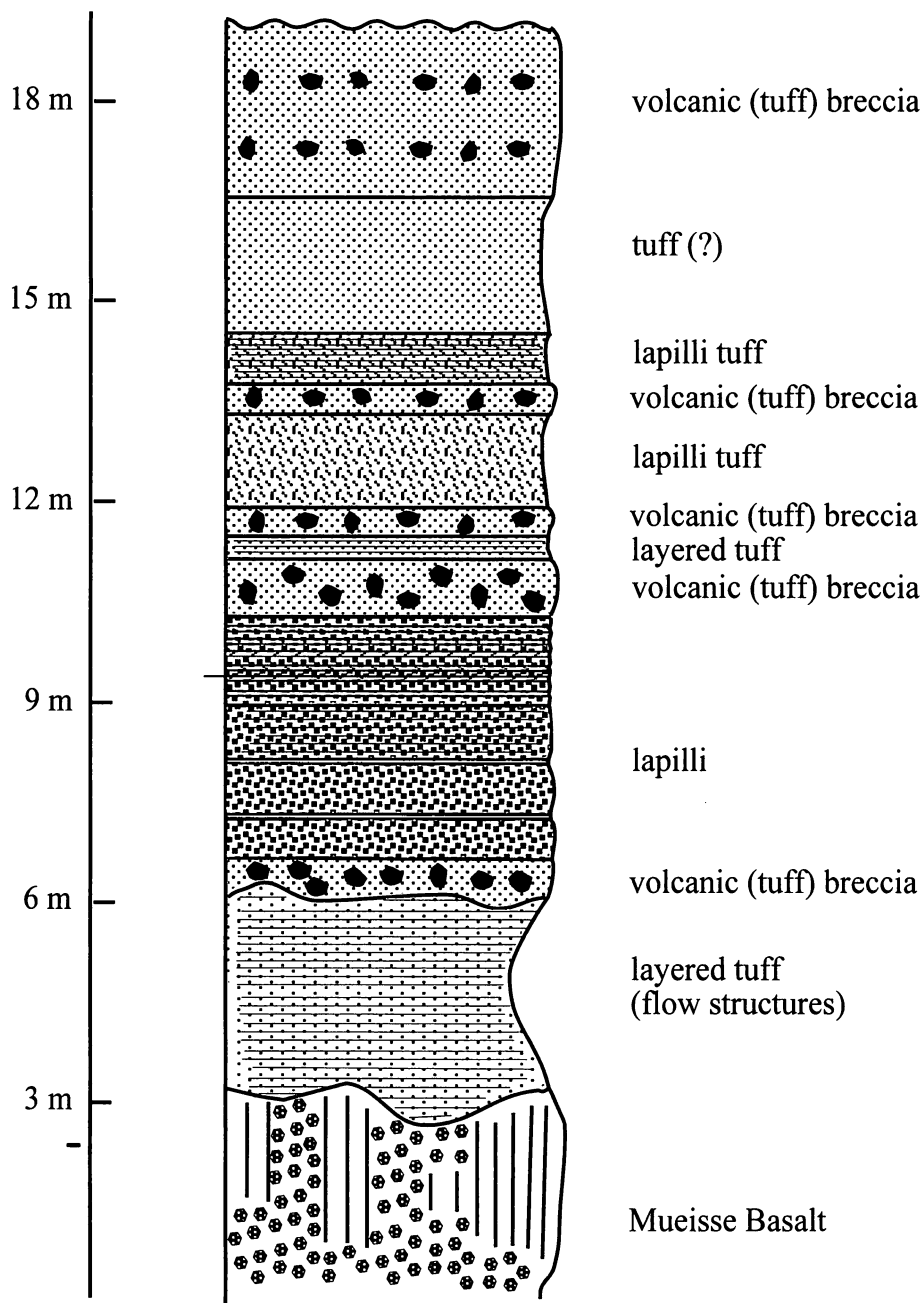
בתחתית החתך מופיעה בזלת מוויסה ה'זורמת' אל העמק שממערב. הבזלת מצולעת, עתירה בזיקולות, אשר לעיתים קרובות הינן מארכות בכיוון מועדף (כיוון זרימה). בתחתית הקילוח נבחין בקלינקר (חומר בזלתי מעוות ומרוסק, שמקורו בהרס הקרום הבזלתי שנוצר בתחתית, ואף על גבי, קילוח הלבה הממשיך להתקדם), בד"כ טרי למדי. עם ההתקדמות בתעלה נגלה, כי יחסי הבזלת-קלינקר בקילוח משתנים בצורה קיצונית, מחתך עמודוני על גבי קלינקר דק ועד לקילוח שכולו קלינקר. הבזלת נטויה בכיוון העמק, ובמעלה התעלה נבחין כי היא אף 'יורדת' מדרגה. עובדה זו מעידה על תבליט קדם-מוויסה באזור האביטל. בזלת מוויסה מכוסה במקומות רבים לאורך התעלה בטוף דק משוכב דק וללא חלקיקים גסים. הטוף ממלא תבליט ועוביו משתנה בין עשרות ס"מ למספר מטרים. בתוך הטוף ניתן לאתר אי התאמות רבות, וסטרוקטורות של שיכוב צולב anti-dunes (תמונה 3). הטוף מכוסה בשכבת לפילי בעובי של כ 60 ס"מ, הבנויה שברי בזלת קטנים, ללא כל חומר סקוריאלי. במעלה התעלה, מתגלה שכבת ברקציה טופית (מלוכדת חלקית בלבד) בין הטוף לבין הפילי (איור 5).

מוצע כאן, כי שלש שכבות אלה מייצגות שלש תופעות הידרו-ולקניות. הטוף בעל סטרוקטורות הזרימה הינו תוצר של surges ('נחשולים') - זרמים חמים ביותר עתירי גז, שזרמו במווד ההר,



תמונה 3: שכבת טוף דק (סטרוקטורות זרימה), ועליה שכבת ברקציה טופית.





איור 5: חתך מייצג בדופן (תעלה) מערבית של סוללת הטוף באביטל. עובי היחידות, בעיקר התחתונות, משתנה בצורה חריפה לאורך התעלה. החלק העליון של החתך (עד פני הסוללה, 5 מ') לא תועד בפרוט.



תוך מילוי סופוגרפיה, אך בשל העושר במ יכלו גם לדלג על תבליט במידת מה (איור 6). הברקציה הטופית חסרת השיכוב והמיין הפנימי מזכירה מהדורה מוקטנת של pyroclastic flow ('זרימת פירוקלסטים') - זרם חם של חמרי פיצוץ, בו כמויות הגז קטנה מב surge, ועל כן הוא צמוד יותר לקרקע וממלא תבליט (איור 6). שני המקרים האחרונים יכולים להכנס תחת קורת הג של ארועים "פריאטו-מגמתיים". ה'לפילי' שמעל ליחידות הקודמות, מתייחד בכך שאינו כולל לא מרכיב אפר דק ולא מרכיב סקוריאי, אלא רק חמרי פיצוץ, ככל הנראה של סלע סביבה. מוצע, כי זהו תוצר של התפרצויות פריאטיות - פיצוץ ללא חוצר מגמתי חדש (יובילי). הצעה זו צריכה לעמוד במבחן סטרוגרפי.

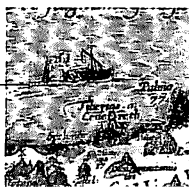
שכבת ה'לפילי' מכוסה באופק דק, הנראה כקרקע (איור 5). אופק זה מכוסה בשכבת לפילי נוספת (80 ~ ס"מ), מעליה אופק קרקע נוסף (4-5 ס"מ), שאף הוא מכוסה בלפילי (80 ~ ס"מ), המתאפיין בשיכוב פנימי דק ובסדקי גלישה רבים. חלק זה של החתך מעיד כנראה על ארועים פריאטיים, שביניהם הבדילו תקופות של שקט והתפתחות קרקע. יתרת החתך, עד לפני סוללת הטוף, מורכבת מחילופי לפילי, לפילי-טוף וברקציה טופית (סה"כ כ 10 מ'). חלק מהשכבות הדקות משוכבות דק, ואינן מראות כל מבני זרימה (קורלטיביות לחלק מהשכבות שראינו לאורך הכביש בתחנה הקודמת), כך שהן עשויות להיות תוצרי הרבדה מהאוויר (fall). לאורך רוב המסלול נטות כל היחידות בכיוון מערב (מהאביטל החוצה), ובשתי נקודות הן אף עולות מדרגה של כ 10-20 מ'. למרות שבמדרגה השניה נחשפות רק שכבות הפירוקלסטים, אני מניח שהיא יושבת על מדרגה דומה בבזלת מוויסה ועל תבליט קדם מוויסה. אם נניח שעובי חתך הפירוקלסטים אינו משתנה מקומית בצורה חריפה (חוץ מאזור הסוללה עצמה), הרי שבזלת מוויסה והטופים שבאו בעקבותיה זרמו במורד בעל שיפוע ממוצע של כ 10%.

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

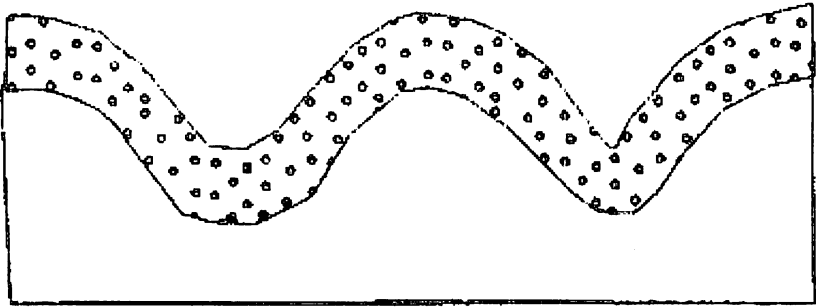
בתחנה זו נפגוש בעיקר בשתי יחידות וולקניות - (1) ברקציה טופית מלוכדת היטב בעלת גוון בהיר ו (2) סקוריה דקה (לפילי) משוכבת) בגוני הצהוב והחום (לעיתים רחוקות - אופק שחור), ללא פצצות. בחלק מהמחשופים נראה, כי ה'לפילי' מכסה את הטוף, והטוף עצמו מכסה על שכבת סקוריה אחרת, הנמצאת במורד אל בקעת האביטל, והכוללת פצצות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

6. הר אביטל - צלע מזרחית (נ.צ. 22456/28073)

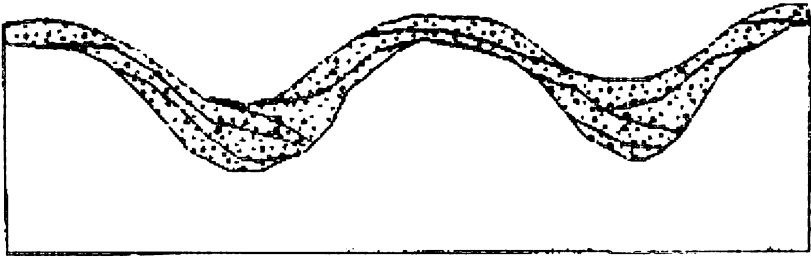
בתחנה זו אנו חוזרים למפגש בין טופים לסקוריה של האביטל הדרומי, הפעם על צלעו המזרחית של קומפלקס האביטל. מדרון הסקוריה מדרום מכוסה בברקציה טופית (כדוגמת זו המוכרת מתחנות קודמות) חסרת שיכוב, שאליה ניגשים (או: אותה מכסים) לפילי וטוף בשיכוב דק. מסתבר, אם כן, שבאזור הצפון-מזרחי של האביטל היו התפרצויות הידרו-וולקניות (תחנה זו)



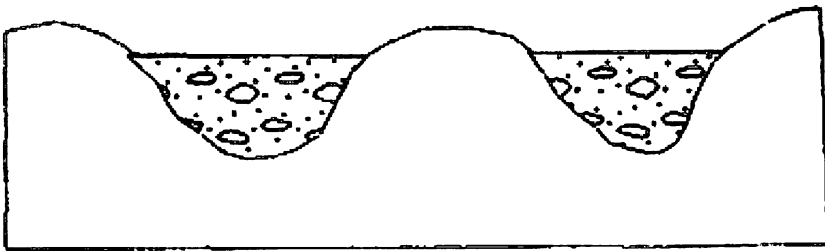
fall



surge



flow



איור 6: משקעים פירוקלסטיים, שנוצרו בשלשה סוגי תמונת פירוקלסטים (מתוך Cas and Wright, 1987): אפר המגיע אל הקרקע בנפילה מהאוויר (ורטיקלית), מכסה תבליט בצורה אחידה, פחות או יותר - surge אפר (לעיתים עם פרגמנטיסילבלוקים של סלע סביבה) הנע כנחשול עתיר דק במקביל לפני הקרקע, ממלא אזורים נמוכים בנוף, אך מצליח גם לטפס על מכשולים טופוגרפיים, מראה שיכוב דק וסטרוקטורות זרימה; pyroclastic flow - ענן אפר הנע במקביל לפני הקרקע, עתיר באפר ופרגמנטים מכל הגדלים, לא מראה שיכוב או מיון כלשהו.



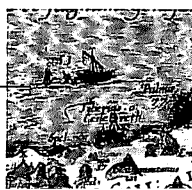
וסטרומבוליאניות (תחנה 5) מאוחרות לארועי הברקציה הטופית.

בשלב זה הגיע הזמן להבין את משמעותם הרחבה של התוצרים הפירוקלסטיים בהם פגשנו בהקשר עם מבנה האביטל, ובמיוחד עם הבקעה שבמרכזו. מור (1973) הציע כי הבקעה (והאביטל ככלל) הינה מבנה התמוטטות פאסיבי, ושלא אופציה של פיצוץ. בניגוד לכך מוצע כאן, כי הסיפור העיקרי של האביטל הוא של התפוצצויות הידרו-וולקניות. יתירה מכך, מוטל ספק רב בהנחה העומדת בבסיס ההצעה של מור, ולפיה אזור בקעת האביטל כולו היה מכוסה בחרוט אפר גדול. ארועים הידרו-וולקניים רבים מסתיימים ביצירת מעטפת טוף (חלקית או מלאה) ובור גדול במרכז, העשוי להתמלא באגם (טבעת טוף או מא'אר, איור 7). מוצע כאן, כי הבור של האביטל, כמו גם משקעי הטוף למיניהם, הינם תוצרי התפרצות הידרו-וולקנית, הקשורה לנוכחות מי תהום גבוהים באזור האביטל (ייתכן שבהקשר עם קיומו של אגם בבקעת קוניטרה). ההיסטוריה המוצעת לקומפלקס האביטל היא כדלקמן:

1. (פלייסטוקן מוקדם) מאזור האביטל מתפרצות בזלות דלווה (כולל בזלת הקיבוץ?).
 2. (פלייסטוקן מאוחר) בזלת מוויסה מתפרצת בחלק המרכזי של הקומפלקס וזורמת במורד המבנה.
 3. התפרצות סטרומבוליאנית - מבנה הסקוריה (cinder cone) של האביטל נוצר בחלקו הדרומי של הקומפלקס.
 4. בזלות עין זיון מתפרצות; קילוח האביטל פורץ את דופן ה cinder cone.
 5. התפרצות סטרומבוליאנית נוספת - מבנה הסקוריה של הבנטל נוצר בחלקו הצפוני של הקומפלקס.
 6. לקראת סוף שלב 5 התפרצויות הידרו-וולקניות ראשונות (מרכז הקומפלקס) מייצרות זרימות פירוקלסטים, המורבדות על מורדות הבנטל הדרומיים (מור, 1973) ובאזור האוכף של האביטל; חלק מן החומר ודאי זרם לכיוון הבקעות במערב או במזרח.
 7. התפרצויות סטרומבוליאניות מוגבלות מייצרות חומר סקוריה דק יחסית (לפילי).
 8. שרשרת ארועים הידרו-וולקניים (כולל פריאטיים) יוצרת את חתך הטוף במערב האביטל תוך פיצוץ (והתמוטטות חלקית) של החלק המרכזי של הקומפלקס.
- הערה: לא נחקרו די צרכם יחסי השדה בין שלב 7 לשלב 8.

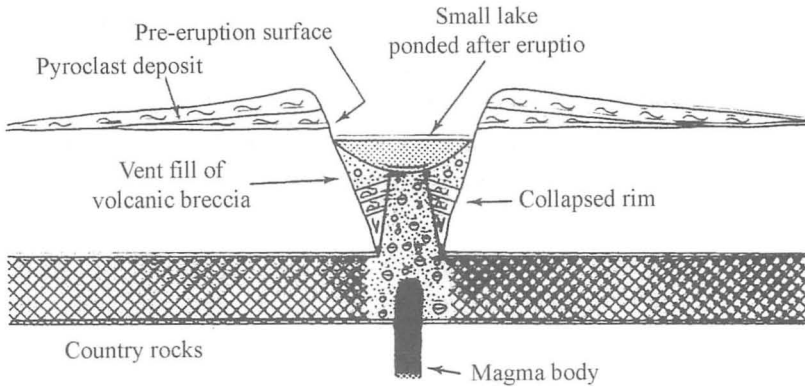
7. ג'ובת אל-כבירה (נ.צ. 2189/2903)

ג'ובה הינה בור גדול בעל דפנות תלולות וחסר ניקוז (מור, 1973). רוב הג'ובות נמצאות על פני בזלות צעירות בצפון הגולן (בעיקר קילוחי אודם של פרט בזלת עין זיון). לא נמצאו כל חומרי פיצוץ בסביבת ובתוך הג'ובות. ג'ובת אל-כבירה הינה הגדולה והמרשימה מבין עשרות הג'ובות הקיימות בצפון הגולן. אל הבור המרכזי, שקוטרו (בפני השטח) כ 250 מ' ועמקו כ 70 מ', צמוד ממערב בור פריטי בקוטר של פחות מ 100 מ' ובעומק של 20-30 מ'. תחנה זו נבחרה לסיור הנוכחי, בכדי להראות מבנה נגטיבי (בנוף), שדרך ההוצרות שלו שונה

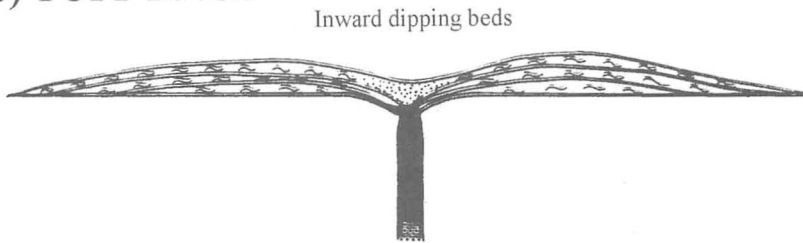


Transport, emplacement and sedimentology

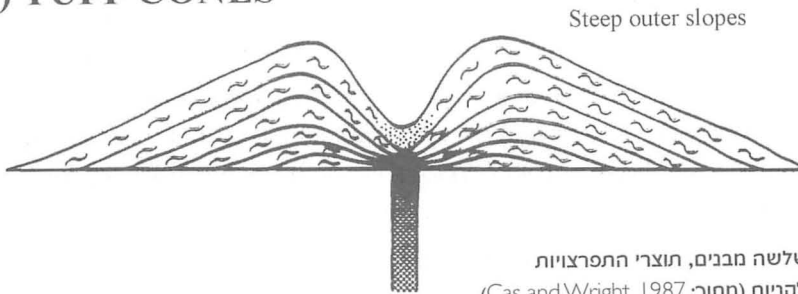
(a) MAARS



(b) TUFF RINGS



(c) TUFF CONES



איור 7: שלשה מבנים, תוצרי התפרצויות
הידרו-וולקניות (מתוך: Cas and Wright, 1987).



בתכלית מזו שהוצעה למבנה האביטל. הצעות רבות הועלו לדרך הווצרותן של הג'ובות, ובהן פיצוץ "פריאטי" (מזור, 1969), קארסט וולקני (Inbar, 1984) וקארסט בסלעים הקרבונטיים שמתחת למעטה הבזלת (פלכסר, 1969). מור (1973) הציע שמקור הג'ובות בפיצוץ בו מעורב גז בלבד, ללא חומר פירוקלסטי יובנילי.

בניגוד לשתים מההצעות המכרות, מוצע כאן להוריד מן הפרק כל הסבר הקשור לפיצוץ כלשהו. אין זה סביר שבכל עשרות הג'ובות הקיימות בשטח יימחק כל סימן לחומר שהועף בפיצוץ. יתירה מכך, לטענת מור הג'ובות הינן המבנים הוולקניים הצעירים ביותר בגולן. לא ייתכן שמבני הסקוריה התלולים עדיין כמעט ולא נפגעו בתהליכי הבליה, בעוד שסוללות חומר הפיצוץ הצעירות יותר (ומן הסתם, בעלות התבליט הנמוך והמתון יותר) נמחו כליל מהנוף. יתירה מכך, ריכוז כה גדול של בורות פיצוץ פריאטיים באזור קטן, ובמיוחד כזה הממוקז היטב לכיוון שולי הבקע, אינו נראה סביר. פיצוץ בשל גז מגמתי בלבד אינו הסבר סביר, שכן אף באזורי הפחתה שם המגמות עתירות מזים (מים בעיקר), כל הפיצוצים חסרי החומר היובנילי קשורים למגע של מגמה עם מי תהום (התפרצויות פריאטיות).

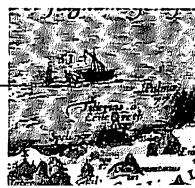
על כן מוצע, כי הג'ובות נוצרו בתהליך של התמוטטות אל תוך חלל תת קרקעי. מקור החללים עשוי להיות קשור באחד משני תהליכים השונים מאד זה מזה.

א. קארסט - עובי הבזלות בשולי הגולן הצפוניים אינו רב, והוא עשוי להיות לא יותר ממספר מטרים עד עשרות מטרים. מים המחלחלים דרך הבזלות עשויים לגרום להמסה אינטנסיבית בסלעים הקרבונטיים שמתחת (חבורת יהודה או עבדת) ולהתמוטטות כיסוי הבזלת אל תוך החלל הקארסטי (פלכסר, 1969).

ב. כיסי מגמה רדודים שהתרוקנו (הלבה נוקזה למקום אחר, לדוגמא: הר אודם הסמוך). דוגמאות לבורות שנוצרו בדרך שכזו ניתן לראות במספר מקומות בעולם, לדוגמא: ליד מנגוואה שבניקרגואה. לדעתי, ההסבר השני הינו פחות סביר בשל המספר הגדול של הג'ובות. ההסבר הראשון, הקארסטי, נראה מתאים לנתוני השטח שלנו. מור (1973) מציין כי הג'ובות מסודרות לאורך רצועה ברוחב של 4 ק"מ בכיוון N43E, במקביל לשבר שמיר. מוצע, כי חללי ההמסה הקארסטיים נוצרו על משטחי שבירה או סידוק המקבילים לשבר זה.

8. הר כרמים (2227/2919)

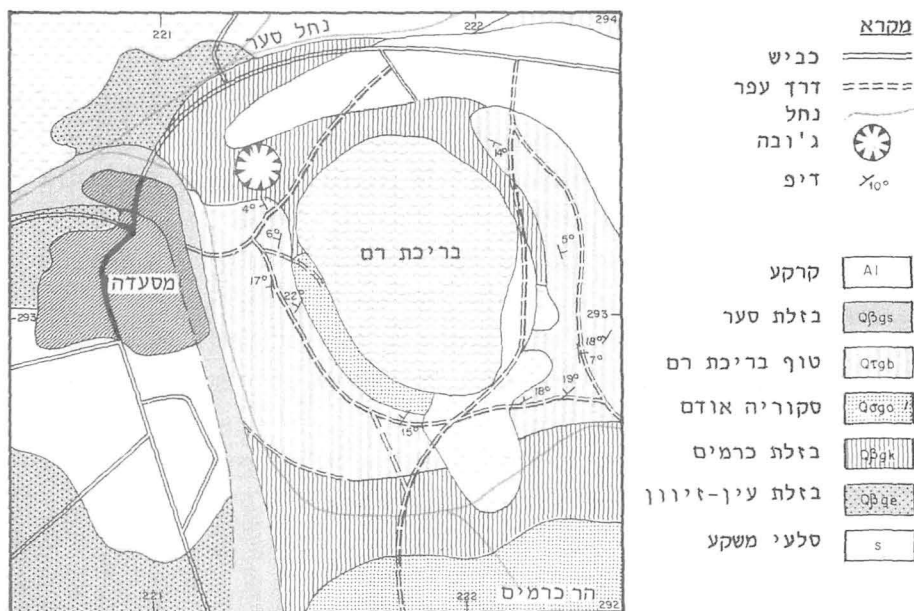
תצפית אל מבנה בריכת רם. לאזור בריכת רם אלמנטים וולקנולוגיים, המזכירים את אלה של הר אביטל. הבריכה מוקפת במשקעי סוף (+לפילי) ממזרח וצפמ"ז, ממערב ומדרמ"ע (איור 8). משקעי סוף מופיעים אף בבקעת יעפורי מצפון. בדרמ"ע ומערב הבריכה מופיע חתך מצומצם של סקוריה, ובצפונה בזלת כרמים (250,000 שנה, Mor, 1993; איור 8). בתוך הבריכה, מתחת למעטה עבה של משקעי אגם, מופיע חתך עבה (60 מ' לפחות) של פירוקלסטים. בדומה לאביטל, הציע מור (1973), כי מקור הבריכה בהתמוטטות של חרוט אפר כתוצאה מכח הכובד. אני מציע, כי בדומה להר אביטל (ובהמשך להצעתו של מזור, 1969), חווה אזור בריכת רם התפרצות



הידרו-וולקנית, שיצרה את מרבדי הטוף, ואת ה"בור" במרכז. את עקבות חלק מהטוף יש לחפש בקרקעות עמק יעפורי. חלק אחר זרם, מן הסתם, בערוצו של נחל סער בכיוון עמק החולה. מוצע, כי גם כאן, חרוט הסקוריה היה ממוקם בדרום (או דרמ"ע) הקומפלקס, אם כי עבודה מסודרת על החומר שהוצע בקידוח תה"ל מקרקעית הברכה עשויה לסייע בקביעת גדלו של החרוט.

9. בריכת רם (2219/2936)

טוף בריכת רם מכיל כמויות גדולות של קסנוליטים מעטפתיים וקרומיים (פרידוטיטים, פירוקסניטים, גרנוליטים מאפיים, גברו) ומגהקריסטים של אמפיבול. מאסף מגוון שכזה באתר נקודתי הינו ייחודי לגולן ולצפון ישראל בכלל. אם לוח הזמנים יאפשר זאת (ואם מפלס הברכה יהיה נמוך יחסית), נקדיש קצת זמן ליצידי קסנוליטים, ולדיון קצר במשמעות הופעתם בנקודה זו.



הגולן - אתר חירי דגניש

איור 8: מפה גיאולוגית של אזור בריכת רם (מתוך: מור, 1986)



ביבליוגרפיה

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

- Brenner, I.B. 1979, The geochemical relations and evolution of the Tertiary-Quaternary volcanic rocks in northern Israel, Ph.D. thesis, The Hebrew Univ. Jerusalem, 202 pp.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V. 1987, Volcanic successions, modern and ancient: a geological approach to processes, products, and successions, Allen & Unwin, London, 528 pp.
- Inbar, M. 1984, Lava caves and surface volcano karst features in the basaltic area of the Golan Heights (Israel), *Karstologia* 4, 2e semester.
- Mor, D. 1993, A time-table for the Levant volcanic province, according to K-Ar dating in the Golan Heights, Israel, *J. Afr. Earth Sci.* 16(3), 223-234.
- Weinstein, Y. 1997, Spatial and temporal changes in composition of Neogene-Quaternary magmatic rocks in NE Israel, *GSI Current Research* 11, 87-95.
- Weinstein, Y. 1998, Mechanisms of generation of intra-continental alkali-basalts in northeastern Israel, Ph.D. dissertation, The Hebrew University, Jerusalem, Israel, 100 pp.
- Weinstein, Y., Navon, O. and Lang, B. 1994, Fractionation of Pleistocene alkali-basalts from the northern Golan Heights, Israel, *Isr. J. Earth Sci.* 43, 63-79.



ההיסטוריה של אגם הכינרת ב-40,000 השנים האחרונות עדויות סדימנטריות וארכיאולוגיות

ניסים חזן, אמוץ עגנון, מרדכי שטיין

המכון למדעי כדה"א, האוניברסיטה העברית, גבעת רם, ירושלים

דני נדל

מכון זינמן לארכאולוגיה, אוניברסיטת חיפה

שמואל מרקו

המחלקה לגיאופיזיקה, אוניברסיטת תל אביב

מבוא

בתקופת הפלייסטוקן וההולוקן התפתחו בבקע ים המלח - בקעת הירדן גופי מים שאופיינו במליחיות שונות. גופי מים אלה התפתחו מתימלחות הבקע הקדומות הקשורות לחדירתה של לגונת סדום (זק, 1967, סטרינסקי, 1974). במרבית הפלייסטוקן התקיימו כנראה גופי מים מתוקים בצפון הבקע וגופי מים מלוחים בדרומו. מלפני 70 ועד לפני 15 אלפי שנים התקיים באזור שבין חצבה בדרום וואדי אל מליח בצפון אגם הליסאן. מצפון "למחסום" של ואדי אל מליח התקיים ברובו של פרק זמן זה גוף מים נפרד שהיה באופן משמעותי פחות מלוח מאגם הליסאן. שני גופי מים אלו התלכדו לתקופה קצרה, כאשר מיפילסי האגמים עברו את הסף של ואדי אל מליח. ההיסטוריה הסדימנטרית ושחזור מפלסים של גוף המים הצפוני - אגם הכינרת עומדים במרכזו של סיוור זה.

תצורת ליסאן מורכבת ממשקעים אגמיים, בעיקר חילופי למינות ארגוניט וחומר דטריטי דק (סילט), ולסירוגין שכבות גבס. בשולי האגם שקעו סדרות קלסטיות: שכבות חול וחלוקים המציניות סביבות חופיות, מניפתיות ונחליות

(Begin et al, 1974, Katz et al, 1977, Machlus et al, 2000, Stein, 2001, Bartov et al, 2002). משטר ההשקעה באגם הליסאן מוכתב ע"י האינטראקציה בין מים מתוקים הנכנסים לאגם ויוצרים גוף מים עליון ובין התמלחת שבגוף המים התחתון (Stein et al, 1997). התנאים להשקעת ארגוניט הם אספקת אלקליניות עם המים המתוקים ואספקת Mg מהתמלחת. סדרות של ארגוניט - דטריטוס סילטי שוקעות בתקופות של מאזן חיובי של אספקת מים מתוקים לאגם ויצירת מבנה לימנולוגי משוכב. גבס שוקע באירועים של ירידה משמעותית באספקת המים המתוקים והיפוך מבנה האגם (Stein et al, 1997). אגם הליסאן התקיים בגובה מפלס של 350 - ועד 160 מטר מפני הים. ברוב הזמן המפלס נע סביב מינוס 280-290 מטר מפני הים (Bartov et al, 2002). בסביבות 17,000 שנים לאחור החל האגם לסגת ובמשך ההולוקן התייצב סביב 400 - מטר מפני הים עם שינויים בסדר גודל של מטרים (Ken-Tor et al, 2001).

החתך הסטרטיגרפי באזור אגם כינרת נקרא תצורת כינרת והיא מונחת באי התאמה על תצורת ארק אל אחמר ועובדיה ובהתאמה על תצורת נהריים. תצורה זו שקולה לתצורת הליסאן ומשקעי ים המלח ששקעו באגן הדרומי (חזן, עבודת מוסמך, 2002). אגם הכינרת הושפע פחות מתימלחות בקע ים המלח (למרות שקיימות עדויות ברורות לקיום תמלחות קלציום-כלורידיות מטיפוס תימלחות ים המלח באזור הכינרת (Kolodny et al, 2000; Moise et al, 2001)). הדבר מתבטא במליחות נמוכה של גוף המים המאפשרת קיום פאונה קרבונטית - סיליקטית והשקעת חוואר ודיאטומיט. בנוסף שוקעים בשולי גוף המים סדרות קלסטיות הבנויות מחול ומחלוקים מסלעי הסביבה: גיר, צור, חוואר ובלת.

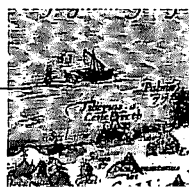
הסיוור עוסק בהיסטוריה הסדימנטרית והלימנולוגית (שינויי מפלס האגם) של אגם כינרת בסוף תקופת הפלייסטוקן ובהולוקן (פרק זמן של 40,000 שנים האחרונות). כמו כן נבקר באתרים ארכאולוגים של תל בית ירח ואוהלו II המציגים עדויות למגורי אדם בסמוך לחופי האגם ב 20,000 שנים האחרונות (איור 1).

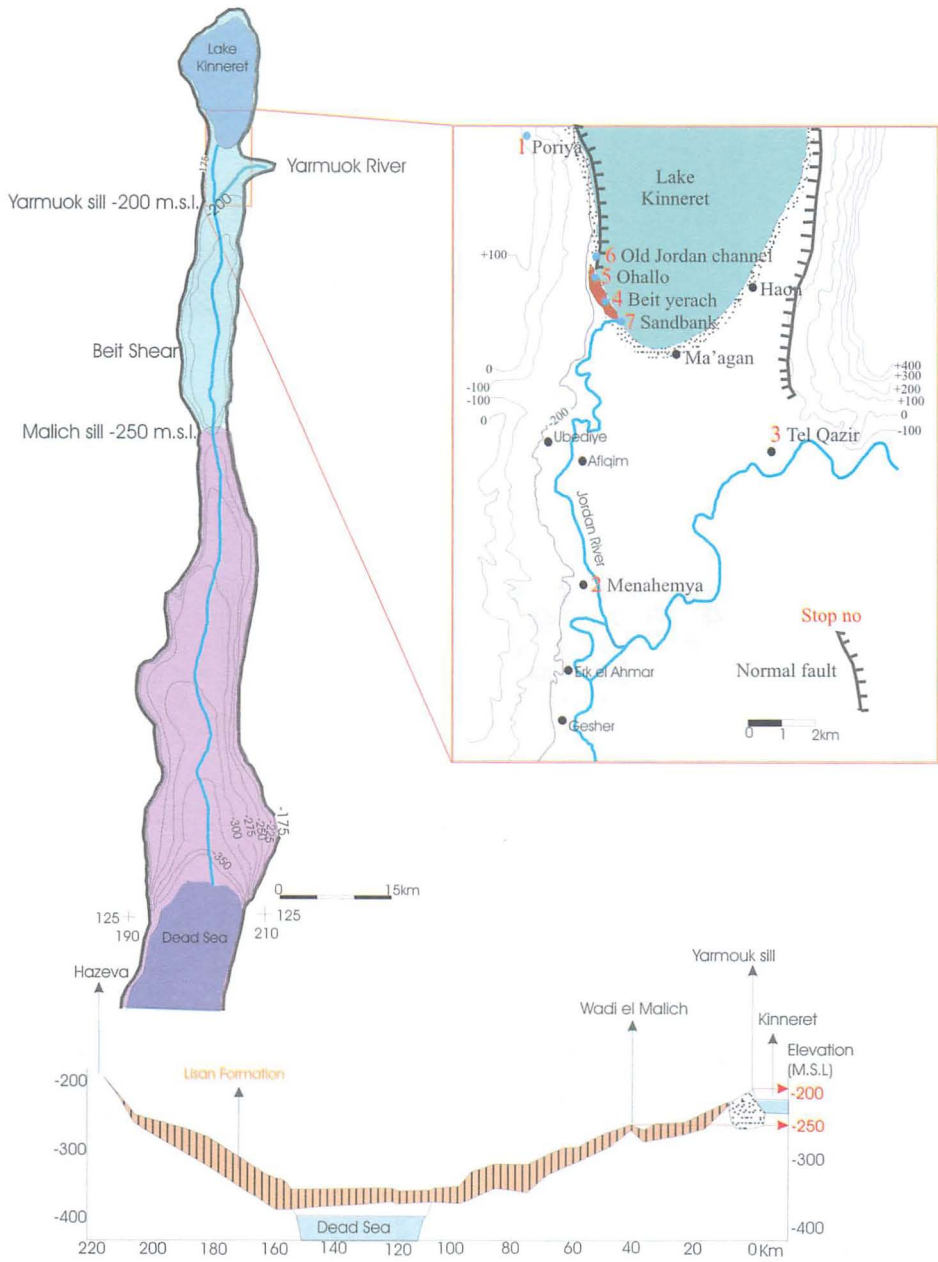
שיחזור עקומת מפלסי האגם מבוססת על זיהוי סדימנטולוגי של משקעי חוף, מניפות נחל וזיהוי אתרים ארכאולוגים חופיים. הכרונולוגיה מבוססת בעיקר על תיארוך בשיטת רדיוקרבון על חומר אורגני ומלנופסידים. מדידות רדיוקרבון על מלנופסידים חיים מציעות כי אפקט המים הקשים (תוספת פחמן מת) אינו עולה על כמה מאות שנים (חזן, עבודת מוסמך, 2002). המעבר מגילי פחמן 14 לגילים קלמריים נעשה בהולוקן על פי דיאגרמות כיול מקובלות ובפלייסטוקן על פי גרף כיול שהתקבל ממשקעי תצורת ליסאן ממאמרם של (Schramm et al., (2000).

תחנה 1. תצפית מהנכביש היורד מאכסניית פורייה לכינרת.

בקעת כינרת מוגבלת ממזרח וממערב על ידי מתלולי העתק, גבולה הצפוני הוא חוף כינרת וגבולה הדרומי היא מניפת הסחף של הירמוך בנהריים. מדרום לנהריים משתרע אגן בית שאן שגבולו הדרומי הוא בואדי אל מליח. גובהה של בקעת כינרת הוא 180-210 מטרים מתחת לפני הים. הבקעה נמוכה ב 250 מטרים מהשוליים המערביים של בקע הירדן וב 500 מטרים מהשוליים המזרחיים שלו. מבחינה מורפולוגית נחלקת הבקעה לשתי טרסות. טרסת הרור העליונה וטרסת הזור התחתונה, שהפרש הגבהים ביניהן הוא 20-30 מטר. כמו-כן נמצאו שרידים לטרסה נוספת הנמוכה ב 9-18 מטרים מטרסת הרור (Nir and Ben-Arieh, 1965).

החתך הנחשף בבקעת כינרת מקביל בגילו לחבורת ים המלח מתקופות פליוקן ועד הולוקן. באזור נחשפות תצורות ארק אל אחמר, תצורת עובדיה, תצורת נהריים ותצורת כינרת (איור 2). עובי החתך הנחשף מצטבר למאות מטרים (בראון, 1992). החתך מורכב מסלעים סדימנטריים קרבונטים וסיליקטים יבשתיים ואגמיים ומסלעים וולקניים. הסלעים הסדימנטריים היבשתיים כוללים סדרות קלסטיות של חרסיות, סילט, חול וקונגלומרטים. הסדימנטים האגמיים כוללים ארגוניט, חוואר ודיאטומיט.





אזור 1: מפת מקום של תחנות הסיור בבקעת כינורות, התחנות ממוספרות בספרות אדומות 1-7. כמו כן מוצגת מפה של אגן הכינרת ובית שאן מצפון למחסום ואדי אל מליח ואגן הליסאן מדרום למחסום (אגן הליסאן מוצג עד חלקו הצפוני של ים המלח). קו הגובה 175 - מטר מפני הים מסמן את מפלס אגם ליסאן כינרת בתקופת שיא המפלס. בנוסף מסומנים מחסומי הירמוך ברום של 200 - מטר מפני הים ומחסום ואדי אל מליח ברום של 250 - מטר מפני הים. (מפת אגנים אחרי בליצקי, 1996; השברים סומנו על פי Rotstein 1992). בתחתית הצירוף מופיע חתך אורך מהכינרת בצפון ועד הצבה בדרום לאורך הירדן המראה את המורפולוגיה של בקע הירדן-ים המלח (Begin et al, 1974). במרבית תקופת הליסאן התקיימו גופי מים מבודדים משני צדי המחסום בואדי אל מליח.



מתצפית לכיוון דרום מזרח ניתן לראות את שפך הירמוך ואת מניפת הסחף של הירמוך אשר מהווה מפתן דרומי לכינרת. כאשר מתבוננים על חופה הדרומי של הכינרת רואים מצוק של סדימנטים מתצורת כינרת הנמשך מאזור קיבוץ האון ממזרח לכינרת ועד תל בית ירח במערב הכינרת. במבט כלפי מטה וקצת דרומה רואים את תל בית ירח כאשר ניתן לזהות בברור את מסלול הריצה של בית הספר אשר נמצא על התל. מתחת לבית הקברות של קבוצת כינרת על קו המים ממוקם אתר אוהלו II בו בבק; כחצי קילומטר צפונית לאתר אוהלו II אפשר לזהות את מוצאו הקדום של היודן ואת ערוץ אשר מקיף את תל בית ירח מצפון וממערב. כיום יש בערוץ מספר ברכות דגים.

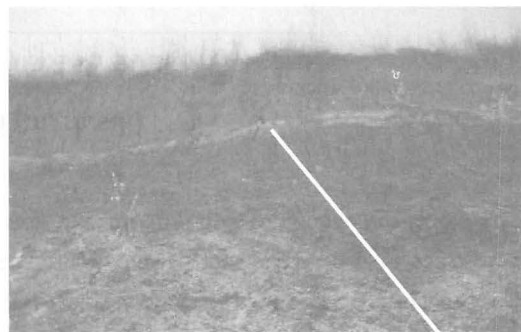
תחנה 2. מחשוף מנחמיה (נ.צ. 2034/2292).

החתך הסטרטיגרפי המוכלל של תצורת כינרת בבקעת כינרת ובבקעת בית שאן מורכב ממספר טורים סדימנטרים מאתרים שונים. החתך המוכלל משתרע מרום 255 - ועד רום 174 - מטר מפני הים, כלומר כ 80 מטר.

מחשוף מנחמיה (איור 3) הינו המחשוף הצפוני ביותר בו מופיעה יחידת ארגוניט כימי הדומה לארגוניט של תצורת הליסאן באזור ים המלח. מחשוף מנחמיה מורכב בעיקר מסדימנטים אגמיים קלסטים דקים, במרכז החתך מופיעה יחידה של למינות ארגוניט בחילופין עם למינות דיטריטוס, עובי הלמינות נע מ 0.5-1 מ"מ, יחידת הארגוניט מתייחדת לכיוון צפון ונעלמת בטווח של מאות מטרים.

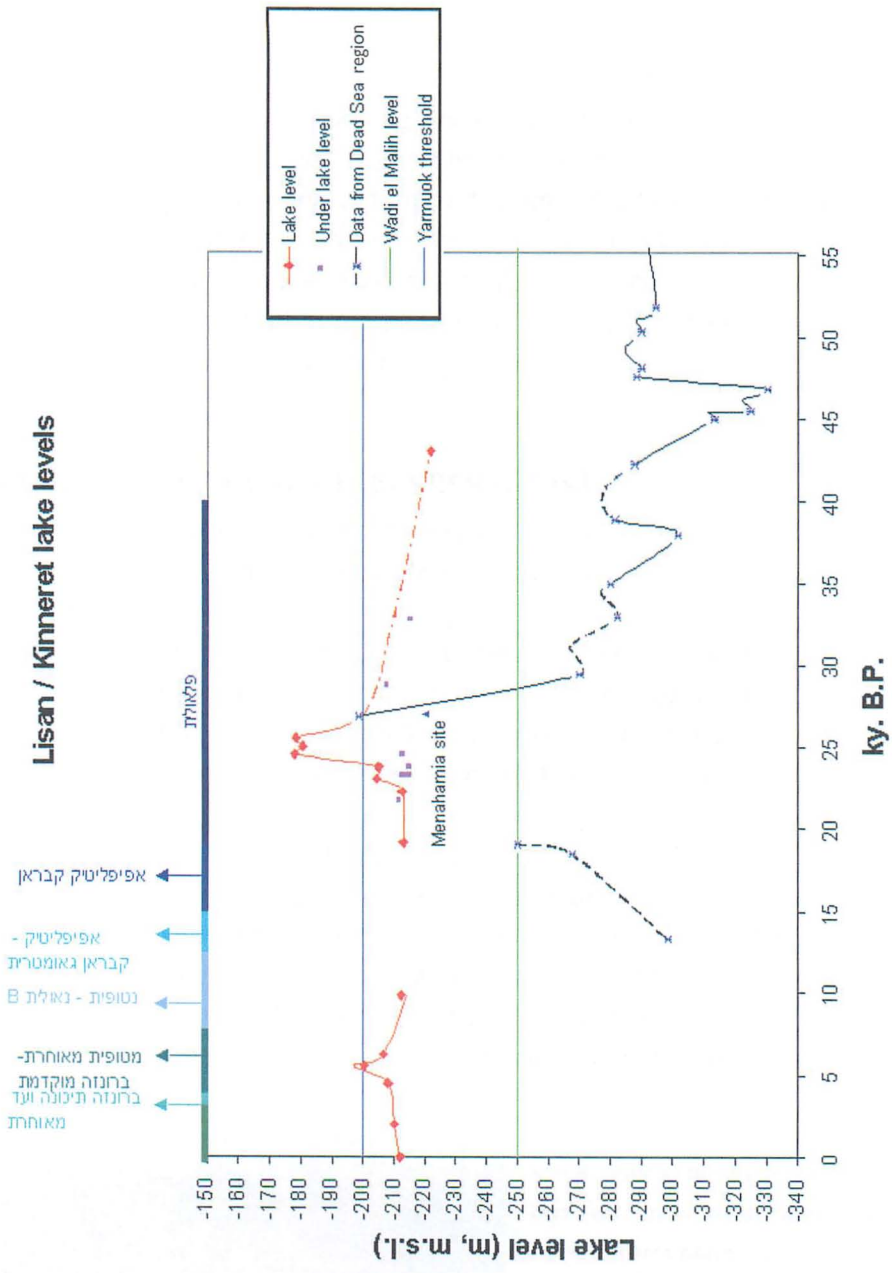
כדי להשקיע ארגוניט דרושה תמלחת עשירת קלציום ומגנזיום (יחס $Mg/Ca > 2$) כמו זו המאפיינת את אגם הליסאן (Katz et al, 1977) שתבוא במגע עם מי נגר עשירים ב ביקרבונט. המצאות הארגוניט באגן הצפוני מעידה על זרימת תמלחות מהאגן הדרומי לצפוני דרך המיצר של ואדי אל מליח. כניסת התמלחות מציינת עליה במפלס אגם הליסאן. יחידת הארגוניט ממוקמת ברום של 220 - מטר מפני הים וגילה נקבע ל $27,000 \pm 790$ שנים בשיטת $^{234}U/^{230}Th$ (בראון, 1992, Schramm et al, 2000). רום יחידת הארגוניט נמוך ב-20 מטר מהמפתן הדרומי של הכינרת,

איור 3: מחשוף מנחמיה תחנה 2. נ.צ. 2034/2292. מחשוף של סדימנטים אגמיים דטריטים במרכז התמונה יש שכבה בהירה המורכבת מארגוניט למינרית. שכבת הארגוניט מציינת הגעת תמלחות מאזור אגן ים המלח לבקעת כינרת. התמלחות הגיעו לבקעת כינרת לפני 27,000 שנים בזמן עליית מפלס באגמיים ליסאן וכינרת.



יחידת ארגוניט





איור 4: עקומת שינויי מפלס אגם הכינרת ב 40,000 האחרונות ונתונים על שינויי מפלס אגם הליסאן על פי Bartov et al (2002). שינויי מפלס אגם הכינרת נקבעו על פי ניתוח תחכים סטרטיגרפים ומאחרים ארכאולוגיים. יש לציין את התאחדותן של העקומות בסביבות 23-26 B.P. ההבדל הגדול במשרעות של שינויי מפלס באגמיים ליסאן וכינרת נובעים מכך שאגם הליסאן הוא טרמינלי. בחלק העליון של האיור מסומנות תקופות ארכאולוגיות.

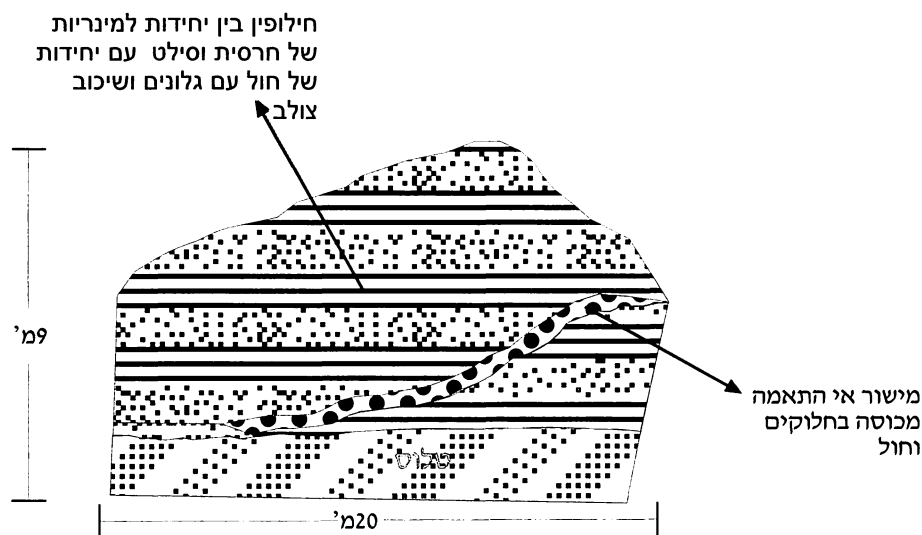


לכן סביר להניח שבתקופה בה שקעה יחידת הארגוניט התאחדו אגם הליסאן וכינרת או שהאגמים היו קרובים מאוד לאיחוד (איור 4).

צפונה יותר בערוץ הירדן בסמוך לקיבוץ אפיקים מעל ליחידת הארגוניט נחשפת יחידה אגמית המורכבת מלמינות של חוואר ודיאטומיט, אנו משערים כי יחידה זו הושקעה בתקופה מפלס השיא של האגם בתקופה בה מפלס האגם היה גבוה מ 200 מטר מפני הים.

תחנה 3. מחשוף תל קציר (נ.צ. 2086/2328)

חלקה הגבוה טופוגרפית של תצורת כינרת חשוף בקרבת תל קציר. החתך במחשוף זה מורכב בעיקר מחילופין בין יחידות חוליות עם גלונים המצביעות על מים דודים ליחידות למינריות של חרסיות וסילט המעידות על מים יותר עמוקים. מחשוף תל קציר מציין את תקופת השיא של מפלס אגם ליסאן \ כינרת (איור 4). בתקופה זו השתרע בבקעת הירדן אגם אחד מצפון הכינרת ועד לאזור חצבה ובו היה שיפוע מליחיות בין החלק הצפוני של האגם שהיה פחות מלוח מהחלק הדרומי. בחלקו הצפוני של האגם שקעו בעיקר סדימנטים קרבונטים, וכן דיאטומיט ואילו באזור ים המלח שקעו למינות ארגוניט ודיטריטוס. במחשוף תל קציר ישנן עדויות לשינויי מפלס במשטרות שונות. שינויים הבאים לידי ביטוי בחילופין בין חווארים למינרים לחול עם שיכוב צולב וגלונים. נציג עדויות לשינויי מפלס בסדר גודל של עשרות מטרים הנמשכים מאות עד אלפי שנים וכן עדויות לשינויי מפלס בסדרי גודל של עשרות סנטימטרים הנמשכים שנים בודדות (איור 5). מחשוף זה נחצב על ידי אי-התאמה אירוזיבית. על מישור אי התאמה שקעו חלוקים ומעליהם סדימנטים



איור 5: מחשוף תל קציר תחנה 3 נ.צ. 2086/2328. איור סכמטי של המחשוף, המחשוף מורכב מרצפים חואריים למינרים עם יחידות חול. במרכז המחשוף מופיעה אי התאמה ארוזיבית.



חרסיתיים למינרים. סביר להניח שאי ההתאמה נוצרה עקב ירידת מפלס אגם אשר גרמה להתחלת תולדות ולאחר מכן חזר המפלס ועלה וסדימנטים למינריים שקעו על אי ההתאמה. בקטע חתך זה התקבלו שלושה גילים: 24,500, 25,000 ו-25,500 שנים מרום 177, 180.7 - 178 מטר מפני הים בהתאמה. תחום הגילים הצר מעיד שהשינוי במפלס האגם, הגידוע ועליית המפלס התרחשו בסמיכות. אנו מעריכים ששינוי מפלס האגם בתקופה זו היה בסדר גודל של מטרים ספורים.

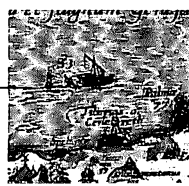
תחנה 4. תל בית ירח

ארכאולוגיה, יצחקי גל, מנהלת הכינרת

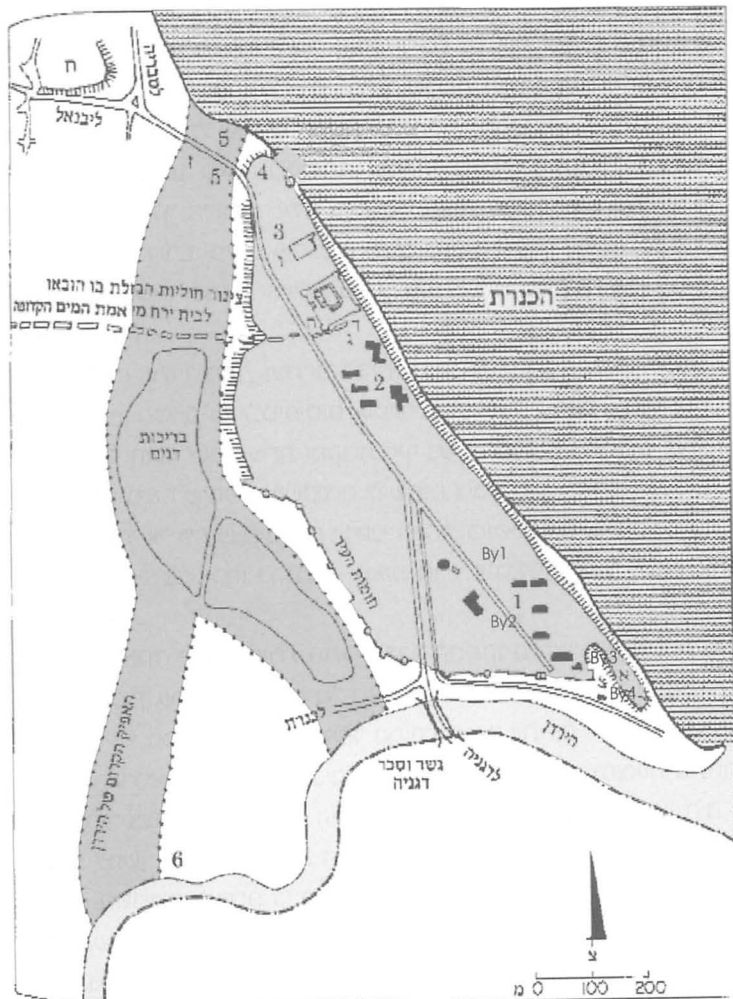
תל בית ירח (איור 6) מורכב משתי יחידות עיקריות: היחידה התחתונה מורכבת ממשקעים אנמיים מתצורת כינרת ומעליהם שכבות ארכאולוגיות. בתל מופיעות 16 שכבות ארכאולוגיות ובהן 24 שלבי ישוב שהתקיימו החל מסוף התקופה הכלקוליתית (6500-5300 B.P) במשך כל תקופות הברונזה הקדומה (5300-4350 B.P) והברונזה התיכונה (4350-3500 B.P). לאחר תקופת הברונזה התיכונה ננטש התל למשך 1,000 שנים עד לתקופה הפרסית (333-538 לפנה"ס) שבה התל יושב ונשאר מיושב במשך כל התקופה ההלניסטית והרומית ביזנטית עד לתקופה הערבית הקדומה (300 לפנה"ס - 1092 לספירה) (בר- אדון 1956).

בצדו המזרחי של תל בית ירח מופיעים מספר מחשופים של סדימנטים מתצורת כינרת. במחשופים האים חתכים סדימנטריים למינרים וכן שכבות עם סטרוקטורות של מים דודים (גלונים ושיכוב צולב). באחד מהחתכים אלו, חתך 1 By (החתך הסמוך לשער הכניסה של בית הספר תל בית ירח) נמצא רכס חוף המצוין מפלס אגם. בסיס רכס החוף ממוקם ברום של 204.8 - מטר מפני הים תוארך לגיל 23,800 שנים ואילו חלקו העליון תוארך לגיל 23,000 שנים. בתוך הסדימנטים המרכיבים את רכס החוף נמצא ליתוקלסט של סדימנט אגמי למינרי. מהימצאות הליתוקלסט ניתן להסיק שרכס חוף זה נוצר בתקופה בה ירד מפלס האגם. נראה לנו שהליתוקלסט נפל מחתך אגמי הממוקם מעל רכס החוף וקודם לו. כל דרך הובלה אחרת הייתה מפוררת את הליתוקלסט הפריך.

בקצה הדרומי של תל בית ירח מתחת לשכבה הארכאולוגית מופיעה יחידה של חול גס וחלוקים אשר שקעו במים דודים. יחידה זו ממוקמת ברום של 206.5 - מטר מפני הים ותוארכה לגיל של 6200 שנים. מחשוף זה מצוין את התחלת התרוממות מפלס האגם ששיאה היה לפני 5500 שנים. שיא המפלס בא לידי ביטוי בעדשת צדפים הממוקמת במחשוף כביש הגישה לבית הספר בית ירח, ברום של 200.3 - מטר מפני הים. עדשת הצדפים משולבת בשכבות ארכאולוגיות מתקופת הברונזה הקדומה ובתוך יש חרסים מעוגלים כחלוקים. עליית מפלס זו הגיע לפחות לרום 200.3 - מטר מפני הים (רום העדשה). הגבול הדרומי של הכינרת בתקופה זו היה סמוך לנהריים. המחסום שהיווה את שפת האגם היה הדלתא של נהר הירמוך. ממפה מפורטת של Ben-Arieh (1964), מתצלום אוויר מתקופת המנדט וכן מעדויות בעל-פה של דוד ניב וצבי ברנשטיין היה קו חוף אשר נמשך מחלקו הדרומי של קיבוץ מעגן לכוון דרום מערב במקביל לכביש יריחו צמח



ברום של 197 - מטר מפני הים. סביר להניח שקו חוף זה היווה את הגבול הדרומי של הכינרת בזמן עלית המפלס המתוארת.
 מרכז חוף המופיע באזור האון אשר נוצר לפני 4460 שנים וממוקם ברום של 208 - מטר מפני הים ניתן לראות שמפלס הכינרת חזר למצבו הקודם בפחות מ 1000 שנים (איור 4).



- מקרא:
- א. שערי העיר
 - ב. מנהרת סתרים
 - ג. מבנה מעגלים
 - ד. בית מרחץ
 - ה. בית הכנסת והביצור
 - ו. הכנסיה הביזנטית
 - ז. שרידי גשר קדום
 - ח. צברי
 - ט. אתר אוהלו
-
- אתרים בני זמננו
 1. ביי"ס גיכון בית ירח
 2. סמינר ומכללת אוהלו
 3. גל הרצל
 4. בית הקברות ודקל רחל
 5. גן רחל
 6. בית המוטור

איור 6: תחנה 4. מפה של תל בית ירח (אחרי וינגרדוב 1992). במפה רואים אתרים ארכאולוגיים שונים אשר נתגלו על התל וכן מסומנים חתכים סרטיגרפים אשר מסומנים By. בחלקו הצפוני של התל מסומן בתכלת אתר אוהלו ||.



תחנה 5. אהלו 11, מחנה דייגים בן 23,000 שנה על חוף הכינרת

דני דל, מכון זימן לארכיאולוגיה, אוניברסיטת חיפה

אתר אהלו 11 (חוף תל בית ירח) נחפר בשנים 1989-1991 ו-1998-2001. באתר נתגלו שרידי מחנה ציידים-לקטים-דייגים בן כ-23,000 שנה (מכיל, על פי 33 תאריכי פחמן 14 על חומר צמחי מפוחם עם ממוצע של 19,500 B.P. בלתי מכויל). רוב התאריכים נעשו ע"י מכון ויצמן, אך 9 תאריכים נקבעו ע"י שלוש מעבדות נוספות. במחנה התגלו שרידי שש סוכות, הקדומות ביותר מסוגן בעולם. כמו כן התגלו קבר אדם, ריכוזי מדורות ומתקנים נוספים. כל השרידים נמצאו באתרם, בגבה 212 - עד 213 מ', בתוך שכבות חרסיתיות-חוליות אגמיות. שטח האתר גדול משני דונם, והוא כולל שרידים המשיכים למספר מחזורי הרבדה.

ההשתמרות באתר גבוהה באיכותה, ובמיוחד בולטים הממצאים האורגניים אשר לא נרקבו או התפוררו במהלך הדורות. אלה כוללים כמויות גדולות מאד של שרידי צומח, ועד כה זוהו עשרות-אלפי זרעים ופירות של מגוון מינים רחב - מאצות ועד עצים. כמו כן נמצאו מאות-אלפי עצמות של דגים, וכמויות גדולות של עצמות בע"ה, מיונקים כגון צבי ויחמור ועד ציפורי מים ועופות דורסים.

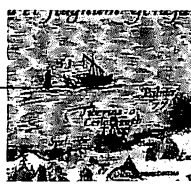
מכלול הצור עשיר מאד, ועדויות לסיתות והכנת להבונים ומיקרוליתים התגלו בתוך הסוכות וביניהן. מגוון הכלים כולל טיפוסים אופייניים לפליאולית העליון מצד אחד, ולאפיפליאולית מצד שני. בין כלי האבן ישנן קערות ומקבות, אך בעיקר בולטים החלוקים בעלי זוג שקערויות נגדיות, אשר ככל הנראה שימשו כמשקולות לרשתות דיג.

עשרות רבות של כלי עצם נמצאו ברחבי האתר, כאשר רובם שייכים לטיפוס החוד הפשוט העשוי מעצם רגל של צבי. כמו כן נמצאו מאות חרוזי דנטאליום אשר הובאו מחוף הים התיכון ואולי אף מים סוף.

העבודות באתר כללו חפירת חתכים דרך המתקנים הארכיאולוגיים וחפירת תעלות טרקטור באורך מצטבר של יותר מ-100 מ', בשני מקומות עד עומק של כ-5 מ'. היבטים גיאולוגיים שונים נבדקו על ידי מספר שותפים. מחקר מפורט נעשה בתחום המיקרומורפולוגיה, הן בחתכים דרך שרידים הארכיאולוגיים והן בחתכים דרך השכבות הטבעיות הנמצאות מתחת ומעל לשרידים אלה (אלכסנדר צצקין). הממצאים הארכאולוגיים מעידים על מחנה אשר היה מיושב במשך מספר פעמים למשך כשנה כל פעם. התושבים עסקו בדייג, צייד ולקט, ואף קיימו קשרים עם אזורים אחרים. השרידים מעידים כי בסביבה המיידית היתה מליחה, וכמו כן היו באגן הכינרת חברות צומח אשר ברובן דומות לחברות המוכרות כיום בעמק הירדן.

עזרה רבה נתקבלה מראש מנהלת הכינרת והפקחים העובדים באזור. כמו כן היה שיתוף פעולה עם המכון לחקר הכינרת ועם רשות העתיקות.

הביקור באתר שלא בזמן החפירה אינו מאפשר תצפית ברוב החתכים, מאחר והאזור מכוסה על ידי יריעות ניילון שחורות. מטרת הכיסוי לשמור על האתר ולמנוע צמיחה של עצים ושיחים אשר גורמים בשורשיהם מק בלתי הפיך לשרידים הארכיאולוגיים.



אתר אוהלו II דגשים גיאולוגים

בשיתוף עם מכון GFZ בפוטסדם (J. Negendank and M. Schwab)

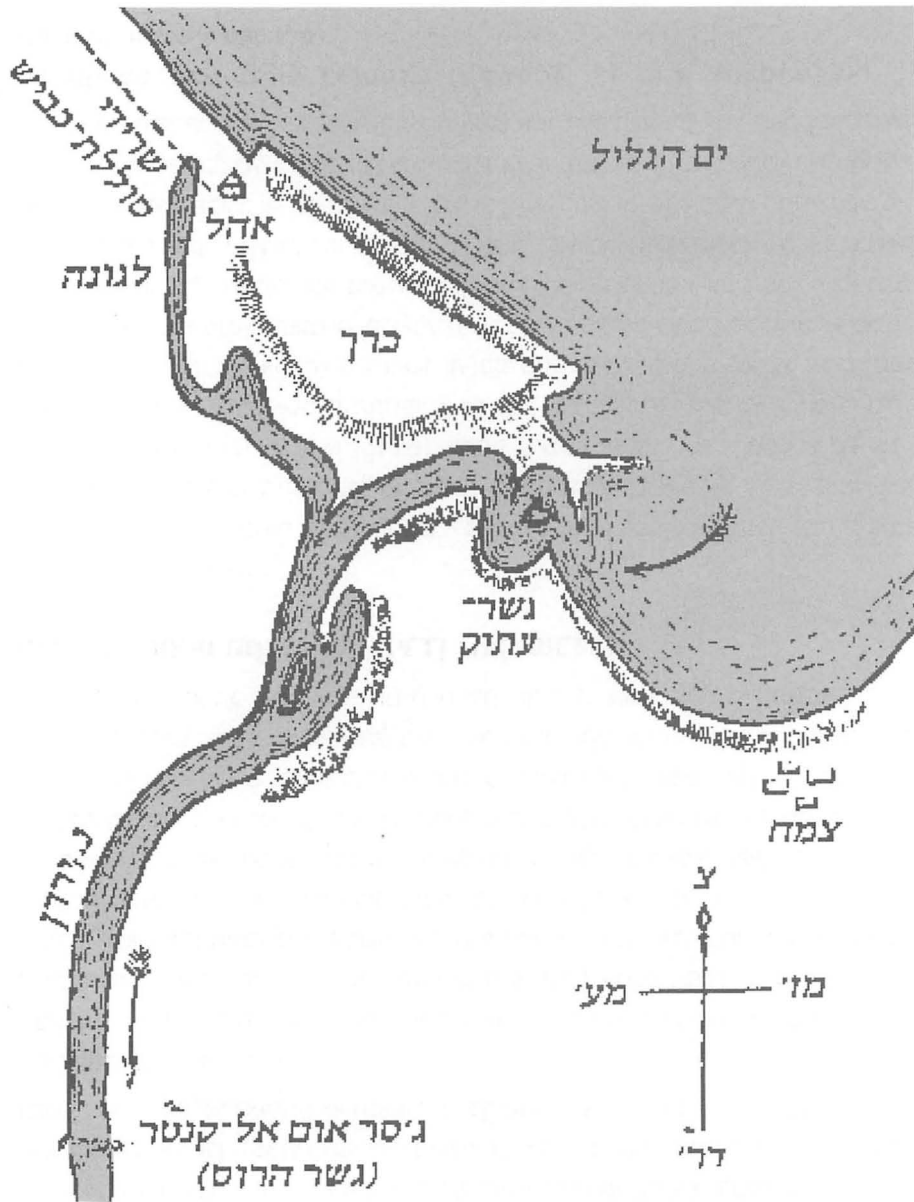
באתר אוהלו נחפרה תעלה ונקדחו שישה קידוחי גלעין אשר העמוק שבהם הגיע לעומק של תשעה מטרים. גלעין זה מורכב כולו מסדימנטים אנמיים ובתחתיתו נמצא חלוק חוואר וקונכיית מלנופסידים אשר תוארכו לגיל מקורב של 43,000 שנים. בעומק תשעה מטרים של הקידוח החלו לנבוע מים חמים ומלוחים מחור הקידוח, דבר המצביע על חדירה לשכבה בעלת מוליכות גבוהה, כנראה שכבת חלוקים. בכל התעלות אשר נחפרו בסמוך לאתר הקידוח לעומק 4 עד 5 מטרים לא נמצא אף חלוק אחד בסדימנטים האנמיים. המשמעות של מציאת חלוקים בעומק 9 מטרים שבסביבות 43,000 שנים היה קו חוף או ערוץ נחל באזור זה ומפלס האגם היה נמוך מרום 222 - מטר מפני הים (הרום אשר בו נמצאה שכבת החלוקים). יש לציין שבתקופה זו היתה ירידת מפלס גדולה באגן הליסאן הדרומי (Bartov et al, 2002). בנוסף, נדגמו מהגלעין גושי פחם מרום של 216 - מטר מפני הים ותוארכו לגיל 33,000 שנים. גושי הפחם נמצאו ביחידה של סילט למינרי אשר שקע בעומק מים של לפחות מספר מטרים, לכן מפלס האגם לפני 33,000 היה גבוה מ 215 - מטר מפני הים (איור 4).

תחנה 6. מוצאו הקדום של הירדן (חוף שלדג)

כיום מוצא הירדן מן הכינרת הוא מדרום לבית ירה, אך בעבר מוצא הירדן היה מצפון לתל בית ירח כחצי קילומטר צפונית לאתר אוהלו באזור חוף שלדג והקיף את התל מצפון וממערב. שרידי האפיק הישן עדיין ניכרים בשטח כברכות דגים. עד המאה ה-19, האפיק הישן היה מוצף במים בתקופת האביב. עדויות לכך הן תיאורי מסע של חוקרים שעברו באזור, כגון ג'והן מקגרגור שערך את מסעו בשנת 1869 ושרטט מפה אשר מתארת הצפה של רוב האפיק הישן של הירדן (איור 7). עדות קדומה יותר היא בתיאורו של הנוסע הרוסי ההגמון דניאל אשר נסע בארץ בשנת 1106: "מכאן יוצא הירדן מימת טבריה בשתי זרועות וזורמים הנחלים האלה במרחק שלוש קליעות קשת זה מזה. ולאחר מחצית הורסטה מתאחדים לנהר אחד." עדויות נוספות הן שרידי גשר אשר חצה את האפיק הקדום באזור גן רחל ושרידי השערים של העיר בית ירח הפונים לדרום, דבר המורה על רצף יבשתי מדרום.

בקרב היסטוריונים וארכאולוגים יש הסכמה על כך שבעבר יצא הירדן מן הכינרת באפיק הצפוני לתל בית ירח אך אין הסכמה לגבי סיבת שינויי באפיק ולגבי הזמן המדויק בו האפיק הצפוני ננטש, אך רוב החוקרים מעריכים ששינוי מסלול הערוץ התרחש בתקופה הביזנטית או בתקופה הערבית (וינוגרדוב, 1992). ישנן מספר אפשרויות לגבי הסיבה אשר גרמה לשינוי באפיק הירדן: האפשרות הראשונה היא מעשה ידי אדם, תושבי תל בית ירח סכרו את האפיק הצפוני של הירדן שהיה רדוד יותר בכדי ליצור מעבר לכיוון צפון. אפשרות נוספת היא תנועת קרקע בזמן רעידת אדמה אשר חסמה את אפיק הזרמה הצפוני. רעידת אדמה אשר מתאימה מבחינת זמן ועוצמה היא הרעידה של 1202. רעידת אדמה חזקה זו החריבה את טבריה ועוד ערים רבות והורגשה





איור 7: איור של מוצא הירדן משנת 1869, האיור נעשה על יד ג'והן מקריגור בספרו רוב רוי. באיור רואים את מוצא הירדן היוצא מדרום לתל בית ירח ומהערץ מסתעפת לגונה המקיפה את התל ממערב וצפון וכמעט מתחברת לכינרת. לגונה זו היא שריד יגרוצו הקדום של הירדן.



מסיציליה ועד עיראק. לשתי אפשרויות אלו לא נמצאו עדויות תומכות כגון שרידי סכר כמו אלו אשר נמצאו בחלקו הדרומי של התל או שרידים לגלישה. בכל שוחות המחקר אשר חפרנו באזור המוצא הקדום של הירדן נמצאו סדימנטים אגמיים. יתכן ובתקופה בה מפלס האגם היה נמוך, הזרימה ממוצא האפיק הצפוני של הירדן נפסקה ועל פתח האפיק נבנה קו חוף אשר סתם את המוצא הצפוני של הירדן. אפשרות זאת נתמכת בעובדה שעד להתחלת המאה בתקופות של מפלס גבוה האפיק הצפוני הוצף ותל בית ירח נשאר מחובר ליבשה על ידי רצועת חוף צרה שהיא קו החוף החוסם את מוצא הקדום של הירדן (איור 7).

בשוחות המחקר מאזור המוצא הישן של הירדן התגלו יחידות קג"ל ללא ליכוד אשר שוייכו לנחלים קדומים. הקג"ל ממוקם ברום של 213 - עד 214 - מטר מפני הים ותוארך לגיל של 9,800 שנים ואילו הסדימנט האגמי בו הנחלים הקדומים התחתרו תוארך לגיל של 22,500 שנים (גיל הזהה לאתר אוהלו). הופעת הקג"ל באזור זה מעידה על ירידה במפלס הכינרת לרום הנמוך מ 214 - מטר מפני הים אשר התרחשה לפני 9,800 שנה ואפשרה לנחלים או שטפונות להביא חלוקים ולהשקיעם בשטח בו היה מוצא הירדן. בכדי ששיטפונות יוכלו להגיע לאזור מוצא הירדן הם צריכים לחצות את ערוץ הירדן וזה מחייב שאפיק הירדן בקטע זה היה מלא בסדימנטים. מהאמור לעיל עולה שמוצא הירדן השתנה מספר פעמים ב 10,000 השנים האחרונות. לפני 10,000 שנים מוצא הירדן היה בערוצו הנוכחי או שלא זרם כלל. על פי עדויות ארכאולוגיות מתל בית ירח לפני 4,000-5,000 שנים היתה זרימה רק באפיק הצפוני לתל בית ירח (האפיק הקדום). ממכתבו של ההגמון דניאל עולה שלפני 900 שנים שני הערוצים היו פעילים ומאוחר יותר הערוץ הצפוני נסתם.

גזעים ומשקעים בני 19,000 שנה בקרבת מוצא הירדן דני דל, מכון זינמן לארכיאולוגיה, אוניברסיטת חיפה

בסתיו שנת 2000 התגלו על חוף הכינרת, במרחק כ- 200 מ' צפונית למוצא הירדן גזעים בתוך שכבות אגמייות. השרידים נחשפו כתוצאה מירידת מפלס המים, בגבה של כ- 213 - מטר מפני הים. במהלך העבודה נתגלו שרידים של מספר גזעים, כאשר הגדולים שבהם מגיעים לקוטר של 40 ס"מ ואורך של 2 מ'.

הגזעים נמצאו במצב אופקי, בריכוז אחד המשתרע על שטח של כ- 100 מ"ר ובריכוז נוסף במרחק 30 מ' ממנו. בין הגזעים לא נמצאו ענפים דקים, אך במרחק של מספר מטרים מזרחה נמצאו ריכוזים קטנים של ענפים / גבעולים / עלים, ומספר קטן של עצמות בע"ח (כולל קרני צבי). לא נמצאו שרידים ארכיאולוגיים באתרם בהקשר של הגזעים.

דוגמאות מחמישה גזעים נלקחו לזיהוי ולתיאורן. כל הגזעים זוהו כערבה ע"י אלה וורקר מן המחלקה לבוטניקה באוניברסיטה העברית בירושלים. חמשת הגזעים תוארכו, כמו גם חומר אורגני דק מן השכבה בה נמצאו הגזעים. ממוצע הגילים הוא 19,150 B.P. נראה כי מקום זה משקף חוף קדום, אולי בקרבת שפך נחל, בו הורבדו הגזעים הגדולים. בהתאם, לכל הפחות כהערכה ראשונית, יש לראות בשרידים אלו עדות לגבה מפלס האגם בתקופה הנדונה.



מעניין לציין כי חומר אורגני משכבות חרסיתיות, בין מעגן להאון ובגבה של 212.5 - מ' הניבו גיל של 23,000 B.P. מבחינת אופי השכבות, גובה וגיל רדיומטרי, החוף הדרום-מזרחי זהה לחוף אהלו II.

ממזרח לריכוז הגזעים נמצאו שרידי בניה באבן, המתקן, אשר ארכו כ- 25 מ' נבנה מאבנים לא מסותתות והוא אינו מתוארך בצורה ישירה. מבחינת סגנון הוא דומה לשרידי שוברי גלים המתוארכים בזהירות לתקופה הרומית. באם כך הדבר, מעיד "שובר גלים" זה על מפלס הנמוך ב- 2 מ' לערך מן המפלס שיוחס לתקופה הרומית ע"י מנדל נון. ייתכן כי ההבדלים נובעים מתיארוך לא מדויק. כמו כן אפשר ובתקופה זו היו מספר שינויים דרמטיים במפלסי האגם, ולו אף לזמנים קצרים. כמו כן אין לשלול אפשרות של תזוזות אנכיות באזור זה.

תחנה 7. שרטונות מול חוף דגניה והאי מול קיבוץ מעגן

עקב ירידת המפלס בשנים האחרונות נחשפו בדרום הכינרת מול חוף דגניה שרטונות המורכבים מקונגלומרט עם חלוקים בגודל 10-2 ס"מ. השרטונות מונחים על שכבה אופקית של סילט חולי, קשה, עם סדקי בוץ, עובי השכבה הוא עד 5 ס"מ. כל השרטונות נוטים לכיוון מזרח, בסמיכות לאחד השרטונות ניתן למצוא את שכבת הסילט החולי עם נטיות הדומות לאלו בשרטונות (איור 8).

מול חוף מעגן נחשף אזור מוגבה אשר במפלס כינרת של 214 - מטר מפני הים נהיה לאי. החתך הסדימנטרי באי זה מורכב משכבות של סילט וחרסית למינרית (עובי שני מטרים לפחות) אשר מעליהן מונחת שכבת חלוקים דקה המכילה חלוקי חוואר קשה ולעיתים למינרי וצור "מסריח"



וכן בולדרים של בזלת ללא ליכוד. בחלקו הדרומי של האי ניתן למצוא שכבות של חול גס וחלוקים קטנים אשר נוסות לכיוון צפון, עובי השכבות מספר סנטימטרים. הרום של שכבות החלוקים ושל השרטונות מאזור דגניה הוא בסביבות 214 - מטר מתחת לפני הים, כמו כן בשני האתרים ניתן למצוא חלוקים דומים.

איור 8) תחנה 7 צילום שרטונות מאזור חוף דגניה מזרחית לירדן. ברום של 214 - מטר מפני הים מופיעים שרטונות המורכבים מקג"ל המכיל חלוקי צור "מסריח", חלוקי בזלת וחלוקי חוואר קשה ולעיתים למינרי. השרטונות יושבים על משטח קשה של חוואר למינרי. ממשטח החוואר הוצא גזע עץ אשר נשלח לתיארוך.



החול והשרטונות הנם שרידים למניפת סחף גדולה אשר כיסתה את כל חלקה הדרומי של הכינרת. מקורה של מניפת סחף זו הוא נחל גדול, כנראה נחל יבנאל או הירמוך. לגבי זמן התהוותה של המניפה ישנן מספר אפשרויות שהן לפני 43,000, ולפני 10,000 שנים. בכל אחת מתקופות אלו מפלס הכינרת היה נמוך מספיק בכדי שתהיה אפשרות להשקיע את מניפת הסחף.

סיכום

מפלס הכינרת עלה בהדרגה מלפני 43,000 ועד לפני 27,000. (איור 4) מנקודת זמן זו החלה עלית מפלס חדה אשר נמשכה עד לפני 25,500 שנים והגיעה לרום העולה על 170 - מטר מפני הים. ברום מפלס זה שני האגמים ליסאן וכינרת היו מאוחדים לתקופה קצרה יחסית כ 3,000 שנים. האגם המאוחד השתרע מאזור חצבה ועד צפון הכינרת. לאחר תקופת שיא המפלס היתה ירידה חדה לרום של 204.5 - מטר מפני הים (רכס החוף בבית ירח) שם מפלס האגם התייצב למשך כ- 1,000 שנים אשר הסתיימו בירידת מפלס נוספת לרום של 213 - מטר מפני הים (אתר אוהלו II). מלפני 22,200 שנים ועד לפני 19,150 מפלס האגם המשיך לרדת אך במתינות. לגבי התקופה 19,150 ועד 9,800 אין נתונים על מפלס האגם, אך אנו מעריכים שבתקופה זו נשמרה יציבות המפלס סביב רום של 214 - מטר מפני הים. לפני 9,800 שנים החלה עלית מפלס אשר שיאה היה לפני 5,500 שנים ברום של 197 - מטר מפני הים. מפלס גבוה זה נשמר לתקופה הקצרה מ 1000 שנים שלאחריה האגם התייצב על מפלס של 210 - מטר מפני הים. על פי אתרים ארכאולוגים ואפיק הירדן הישן ניתן לראות שמפלס הכינרת היה קבוע באלפיים השנים האחרונות (בן-אריה, 1967). שינויי מפלס במאה האחרונה נובעים ממעשי אנוש כגון בניית סכר דגניה ושיאבת מים מהכינרת.

ישנה התאמה ברורה בין שינויי מפלס באגם הליסאן באזור ים המלח (Bartov et al, 2002) לבין שינויי מפלס של אגם הכינרת. במשך מרבית התקופה של 43,000 אלף השנים האחרונות האגמים היו נפרדים, כאשר מפלס הכינרת היה קבוע יחסית בסביבות 200 - מטר מפני הים. מפלס האגם השתנה בצורה משמעותית רק לתקופה קצרה של 2,000 עד 3,000 שנים (לפני 27,000 - 24,000 שנים). בתקופה זו הכינרת ואגם הליסאן היו מאוחדים ומפלס האגם היה בסביבות 170 -מטר מפני הים.

משטר ההשקעה בכינרת בפלייסטוקן המאוחר התאפיין בסדימנטים דטריטים וקרבונטים למינרים. בהולוקן המשיך משטר ההשקעה של חומר דטריטי וקרבונטי, אך בניגוד לפלייסטוקן המאוחר בו הסטרטוקטורה השלטת היא למינרית, בהולוקן שקע רצף סדימנטרי מסיבי (ללא למינציה). הסיבה לכך היא השתנות אגם הכינרת לאגם אוטורפי (Stiller et al, 1984) בחורף מתערבבת עמודת המים ותהליך זה גורם לערבול הסדימנטים בקרקעית הכינרת ומונע הוצרות למינות (Serruya, 1978).



תודות

לדוד ניב אשר התווה את הדרך לביצוע עבודה זו.
ליצחקי גל שלגביו קיים הכלל: לך תמיד בעקבות יצחקי.
וכן תודות לצבי ברנשטיין ולצבי אוטנברג על חיפוש מפות ותצאו"ת ישנות וגם ביכרונות.

מקורות

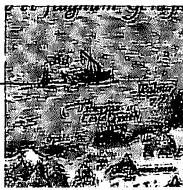
בליצקי, ש. 1996. גיאומורפולוגיה טקטונית של עמק הירדן התחתון, בקע יבשתי פעיל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית ירושלים, 153 עמ'.
בר אדון, פ. 1956. צינברי ובית ירח לאור המקורות והממצא הארכאולוגי. ארץ ישראל. כרך. ד, עמ' 49-55.
בראון, ד. 1992. הגיאולוגיה של אזור אפיקים. עבודת גמר לתואר מוסמך, האוניברסיטה העברית ירושלים, 93 עמ'.
וינגרדוב, ז. 1992. בית ירח. ספר הכינרת. 335 עמ'.
זק, י. 1967. הגיאולוגיה של הר סדום. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית ירושלים, 200 עמ'.
סטרינסקי, א. 1974. יחסי גומלין בין תמלחות Ca - כלורידות לסלעי משקע בישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 166 עמ'.

Bartov, Y., Stein, M., Enzel, Y., Agnon, A. and Reches, Z., 2002. Lake Levels and Sequence Stratigraphy of Lake Lisan, the Late Pleistocene precursor of the Dead Sea. Quaternary Research. vol. 57, pp.9-21.
Begin, B. Z., Ehrlich, A. and Nathan, Y., 1974. Lake Lisan - the Pleistocene precursor of the Dead Sea. Geol. Surv. Isr. Bull. vol. 63. pp. 30.
Ben-Arieh, J., 1964. Some remarks on the last stages of formation of Lake Tiberias. Israel J. Earth. Sci. vol. 13, pp.53-62.
Katz, A., Kolodny, Y. and Nissenbaum, A. 1977. The geochemical evolution of the Pleistocene Lake Lisan - Dead Sea system. Geochimica et Cosmochimica Acta. vol. 41, pp. 1609-1626.



- Ken-Tor, R., Agnon, A., Enzel, Y., Stein, M., Marco, S. and Negendank, J.F.W. High-resolution geological record of historic earthquakes in the Dead Sea Basin. *J. Geophys. Res.* vol. 106, pp. 2221-2234.
- Kolodny, Y., Katz, A., Starinsky, A., Simon, E., and Moise, T. 1999, Chemical tracing of salinity sources in Lake Kinneret (Sea of Galilee), Israel. *Limnology and Oceanography.* vol. 44, pp. 1035-1044.
- Machlus, M., Enzel, Y., Goldstein, S., Marco, S. and Stein, M. 2000. Reconstructing low levels of Lake Lisan by correlating fan-delta and lacustrine deposits. *Quaternary International.* vol. 73-74, pp. 137-144.
- Moise, T., Starinsky, A., Katz, A., and Kolodny, Y. 2001. Ra isotopes and Rn in brines and ground waters of the Jordan - Dead Sea rift valley; enrichment retardation and mixing. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* vol. 64; 14, pp. 2371-2388.
- Nir, D. and Ben-Arieh, Y. 1965. Relicts of an intermediate terrace between the Ghor and the Zor in The Central Jordan Valley, Lake Tiberias Kfar Ruppin (Israel). *Isr. Jr. Earth Sci.* vol. 14, pp. 1-8.
- Rotstein, Y., Bartov, Y., and Frieslander, U. 1992. Evidence for local shifting of the main fault and changes in the structural setting, Kinarot basin, Dead Sea transform. *Geology.* vol. 20, pp. 251-254.
- Schramm, A., Stein, M., Goldstein, S, L., 2000. Calibration of the ^{14}C time scale to > 40 ka by ^{234}U - ^{230}Th dating of Lake Lisan sediment (last glacial Dead Sea). *Earth and Planetary Science Letters.* vol. 175, pp. 27-40.
- Serruya, A. 1978. Lake Kinneret. pp. 501.
- Stein, M., Starinsky, A., Katz, A., Goldstein, S, L., Machlus, M., and Schramm, A. 1997. Strontium isotopic, chemical, and sedimentological evidence for evolution on Lake Lisan and Dead Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* vol. 61, pp. 3975-3992.
- Stein, M., 2001. The sedimentary and geochemical record of Neogene-Quaternary water bodies in the Dead Sea Basin - inferences for the regional paleoclimatic history. *Journal of paleolimnology.* vol. 26, pp. 271-282.
- Stiller, M., Ehrlich, A., Pollinger, U., Baruch, U., and Kaufman, A. 1984. The late Holocene sediment of Lake Kinneret (Israel) multidisciplinary study of a five meter core. *GSI. Current Research 1983 - 84.* pp. 83 - 88.





הלוע הוולקני בנחל תבור, והמסגרת הטקטונית, הוולקנית, והסטרטיגרפית של האזור

גדעון בר

המכון הגיאולוגי, ירושלים

הקדמה

ההתחברות העמוקה של נחל תבור התיכון ויובליו מאפשרת התבוננות ייחודית במגוון רחב של תופעות סטרוקטורליות, וולקניות, וסדימנטריות, אלה בצד אלה. בסיום זה אנו מתמקדים באזור מצומצם, בו נחשף כמעט במלואו אחד הלועות הוולקניים המיוקניים הבודדים בגליל. חשיפתו מגלה מערכת הזנה ותוצרים וולקניים מגוונים, ומציגה יחסי שדה מורכבים בינו לבין סלעי הסביבה והמבנים הגיאולוגיים הסמוכים. הלוע נחקר על ידי ליאור אהרון במסגרת עבודת גמר באוניברסיטה העברית ובמכון הגיאולוגי (אהרון, 1997). מדריך סיור זה מבוסס בחלקו על עבודתו של אהרון ועל מדריך סיור קודם לאזור (אהרון וחבריו, 1995). במספר תחומים מוצגות במדריך הסיור הנוכחי תצפיות ופרשנויות חדשות. חלקו העיקרי של הסיור (תחנות 1 - 11) רגלי. לתחנה 12 רצוי להגיע ברכב (4x4).

לסיור שלוש מסרות עיקריות:

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

מבנה גיאולוגי

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



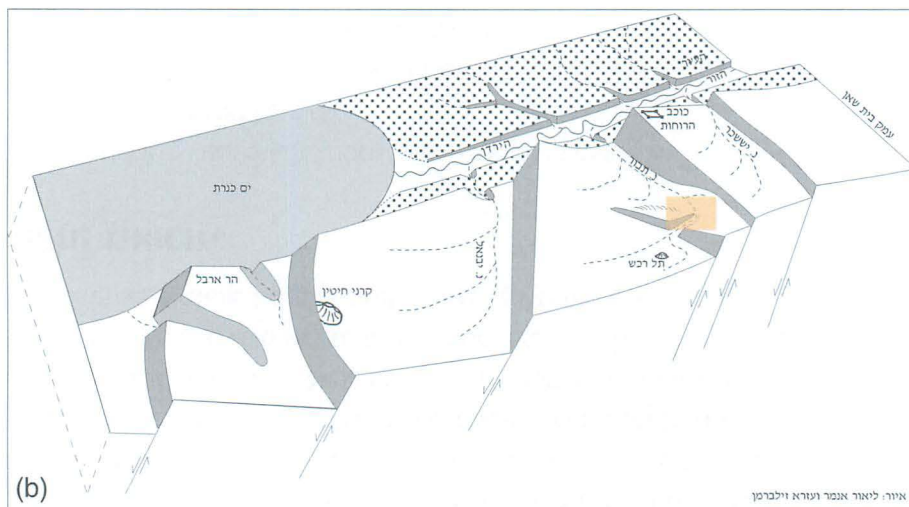
240



220

180

200



(b)

איור: ליאור אמר ועזרא וילברמן

איור 1. (a) מפת מיקום של איזור הסויר (במסגרת צהובה) ומערכות ההעתיקים והדייקים (באדום) בגליל התחתון. (b) מבנה הגליל התחתון המזרחי (מתוך בגין ווילברמן, 1997).



סטרטיגרפיה

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

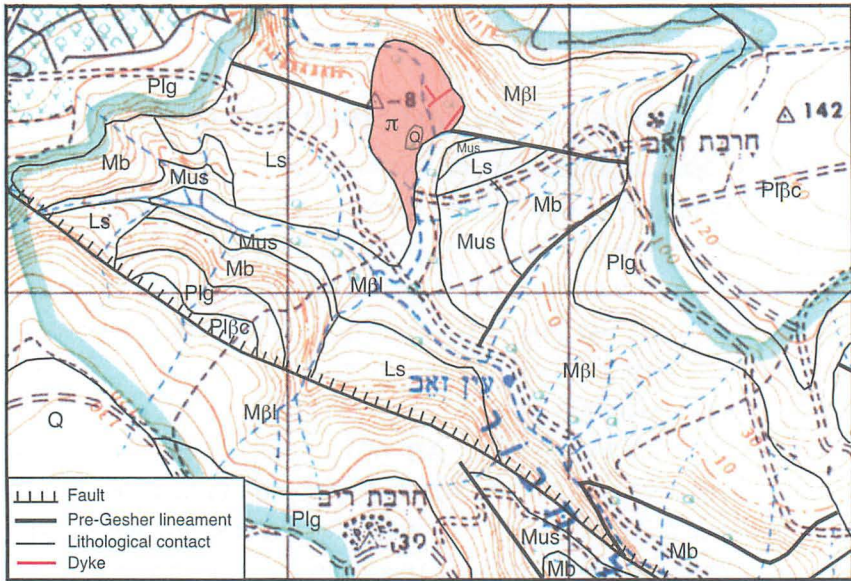
התצורה העתיקה ביותר החשופה באיזור הסיור היא הבזלת התחתונה, שבנויה בעיקר מאלקלי-אוליבין בזלת (Oppenheim, 1962). התצורה מתאצבעת באזורים סמוכים עם תצורת הורדוס או מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי יחידות קרטיקוניות עד איאוקניות (שליב, 1991). בגג התצורה אי התאמה נוספת, כאשר מעליה מונחות תצורות אום סבונה, בירה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

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

התצורה קלסטית בעיקרה ומכילה במקומות מסוימים גם אופקים שנראים פירוקלסטיים. שולמן (1962) הציע שהתצורה קשורה לשלב של שבירה ויצירת בלוקים מורמים בסוף תקופת הבזלת התחתונה. העובי המירבי של התצורה כ- 200 מ' בנחל צבון (אום סבונה), שם נמדד החתך הטיפוסי (שולמן, 1962). גיל התצורה על פי שליב (1991) הוא בין 10 מ"ש ל- 7 מ"ש. באיזור כוכב הירדן נמצא זרם בזלת שגילו 8.4 מ"ש בגג התצורה. שליב (1991) כלל זרם זה בקבוצה רחבה יותר של בזלות שחלקן מצוי בחתך תצורת בירה (ראה להלן) ואשר כונו על ידי שולמן (1962) בשם "הבזלת התיכונה". באיזור נחל תבור נמצאו שינויים על פני מרחקים קצרים בעובי תצורת אום סבונה, בין 0 מ' לכ- 40 מ' (איורים 2, 3). הרכב התצורה משתנה אף הוא בין קונגלומרט יבשתי עם חלוקים בזלתיים לסלעים קלסטיים דקי גרגר (אבני חול וולקנוניות), וספריטים, שהם סלעים חואריים אנמיים המכילים פרנגנטים של בזלת, טוף וסקוריה (אהרון, 1997, ראה תחנה מס' 10). התצורה מונחת באי התאמה ארוזיבית על גבי הבזלת התחתונה ועוברת באופן הדרגתי לתצורת בירה שמעליה.



228

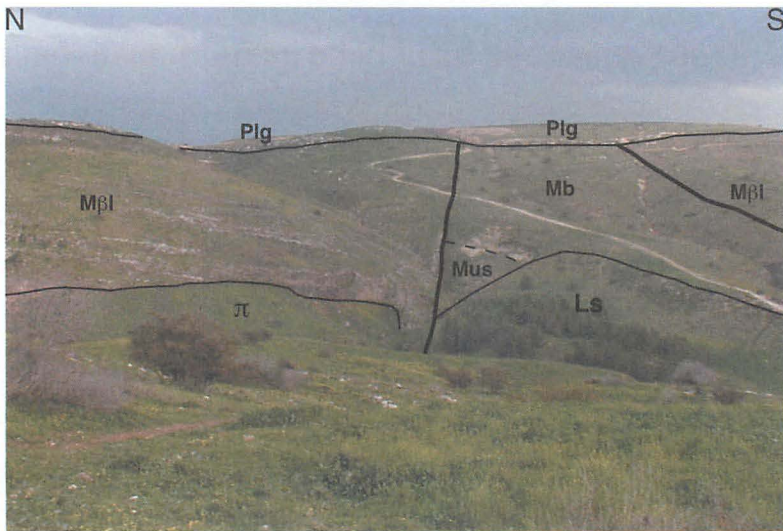


226

193

196

איור 2. מפה גיאולוגית של איזור הלוע הוולקני. $M\beta l$ - בזלת תחתונה, π - סלעים פירוקלסטיים, Mus - תצ' אום סבונה, Mb - תצ' בירה, Plg - תצ' גשר, $Pl\beta c$ - בזלת הכיסוי, Q - אלוביום, Ls - גלישת סלע.



איור 3. מבט כללי על איזור הסיור. ניתן להבחין בשני ליניאמנטים קדומים לתצורת גשר ובקיר הלוע הוולקני (מגע בין בזלת תחתונה לסלעים פירוקלסטיים). למקרא היחידות ראה איור 2.



תצורת בירה (חואר בירה אצל שולמן, 1962)

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

תצורת גשר (שולמן, 1962)

תצורה המורכבת בעיקר מגירים וקרטונים שהצטברו באגמים של מים מתוקים, לאחר נסיגת הים. התצורה מונחת באי התאמה על הבזלת התחתונה, ועל תצורות אום סבונה ובירה, ומכוסה באי התאמה על ידי בזלת הכיסוי. עובי התצורה המירבי הוא 120 מ' (שליב, 1991). באיזור סירין (מצפון לנחל תבור) ובמתלול כוכב (מדרומו) חסרה התצורה כנראה עקב גידוע מאוחר להשקעתה (שולמן, 1962). גיל התצורה בין 5.3 מ'ש ל- 4.8 מ'ש (שליב, 1991). באיזור הסיור מכסה התצורה מתלולים קדומים (איור 3) ומונחת מעל לתצורת בירה באיזורים הנמוכים סטרוקטורלית ומעל לבזלת התחתונה או לאופק ה"לומשל" של תצורת בירה באזורים הגבוהים סטרוקטורלית. עובי התצורה ואופיה אינם מושפעים מהתבליט הקדום. בחתך שנמדד כ- 5 ק"מ דרומית מזרחית לאיזור הסיור בנויה התצורה מחילופין של חואר, חרסית, קרטון וגיר כאשר בחלקה העליון מכילות שכבות אלה אואוליטים. עוביה כ- 55 מ' (אהרון, 1997).

בזלת הכיסוי (שולמן, 1962)

זו התצורה המכסה את הרמות הנטיות בגליל התחתון והיא העליונה בחתך הסטריגרפי של איזור הסיור. הבזלת מונחת באי התאמה על היחידות הקדומות לה. בזלת הכיסוי בנויה מאלקלי אוליבין בזלת (אופנהיים, 1959) וגילה בתחום שבין 5.3 ו- 3.5 מ'ש (שליב, 1991). העובי המירבי של התצורה הוא כ- 150 מ' (שולמן, 1962). באיזור הסיור עובי התצורה 12 מ' (אהרון, 1997).

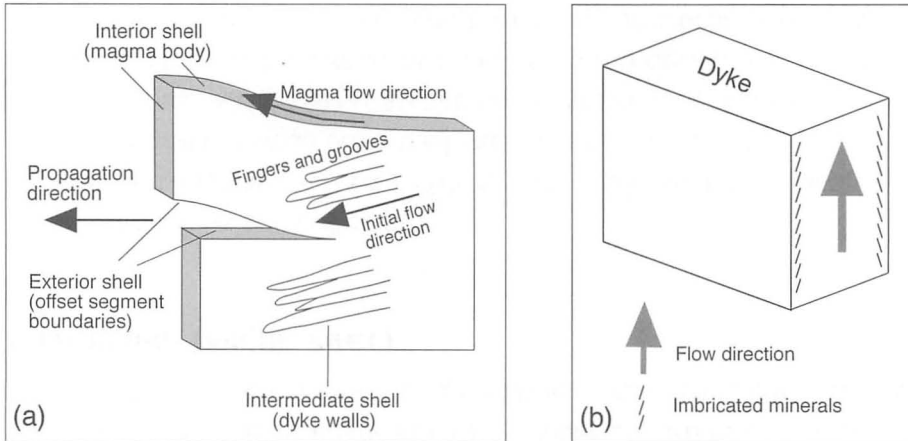


מגמטיזם

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

שחזור כיווני זרימה של מגמה בדייקים

במסגרת הסיור נצפה בדייקים שנחשפים בלוע הוולקני של נחל תבור. חלק מהבנת תהליך הצבתם ומקור הזנתם מבוסס על שחזור כיווני ההתקדמות של הדייקים וכיווני הזרימה של המגמה בהם. קיימות מספר שיטות לשחזור כיוונים אלה (למשל, Pollard et al., 1975, בר, 1989). כיווני ההתקדמות משוחזרים על סמך הגיאומטריה של קטעי הדייקים, כאשר מדרגות אשר מפרידות בין הקטעים מקבילות בדרך כלל לכיוון ההתקדמות ומבנים מאורכים בצורת אצבעות על קירותיהם או על קירות סלעי הסביבה מצביעים על כיווני הזרימה הראשוניים בדייק (איור 4a מתוך Baer, 1995). כיוון הזרימה של המגמה בדייק אינו בהכרח דומה לכיוון ההתקדמות של הדייק ואותו ניתן לשחזר באמצעות המרקם המינרלוגי והמגנטי של הסלע (למשל, Knight and Shelley, 1985).



איור 4. שחזור כיווני התקדמות וזרימה בדייק. (a) התפצלות לקטעים. כיוון גבולות הקטעים מצביע על כיוון התקדמות הדייק. מבני אצבעות על קירות הדייק מצביעים על כיוון הזרימה הראשוני ומרקם הסלע מצביע על כיוון הזרימה של המגמה בתוך הדייק (מתוך Baer, 1995). (b) יחסים סכימטיים בין צורת האימבריקציה של המינרלים בקרבת קירות הדייק לבין מגמת הזרימה.



(Walker, 1988). כיווני הזרימה של הדייקים בנחל תבור שוחזרו בעיקר באמצעות המרקם המגנטי של הסלע על ידי מדידת האנאיזוטרופיה של הסוספטביליות המגנטית (AMS) והשווה לכיוונים מועדפים כפי שנצפו בשקפים מכוונים (אהרון, 1997). השיטה מבוססת על ההנחה שבמגמה זורמת מסתדרים גבישי הסלע במקביל לכיוון הזרימה וכך הם נראים גם בהתגבשותה. מינרלים מגנטיים קטנים (מגנטיטים בעיקר) מסתדרים אף הם במקביל לגבישי הסלע בצורה של שרשראות. מבנה זה יוצר אנאיזוטרופיה של הסוספטביליות המגנטית של הסלע (אותה ניתן למדוד), כאשר ברוב המקרים הציר הארוך של אליפסואיד האנאיזוטרופיה (ציר KI) מקביל לציר הארוך של שרשראות המגנטיטים, כלומר לכיוון המועדף של המינרלים בסלע שהוא כיוון הזרימה. כתוצאה מהבדלים במהירות הזרימה של המגמה בין מרכז הדייק וקירותיו מתרחשת גזירה בתוך המגמה הזורמת ובישים מאורכים מסתובבים בקירבת הקירות שם הגזירה רבה יותר ויוצרים אימבריקציה. מגמת הסיבוב (כיוון האימבריקציה) מאפשרת שחזור של מגמת הזרימה, בנוסף לשחזור כיוון הזרימה (איור 4b). בנחל תבור התבצע מחקר מסוג זה ונמדדו צירי ה-AMS לרוחב דייקים בגלענים במרווחים קטנים ככל האפשר. צירי ה-AMS הוצגו על גבי השלכות סטיריאוגרפיות המאפשרות זיהוי כיוון הזרימה (ממוצע צירי KI) ומגמתה (אימבריקצית צירים אלה משני צידי הדייק). פרוט המדידות ותוצאותיהן ניתן למצוא אצל אהרון (1997).

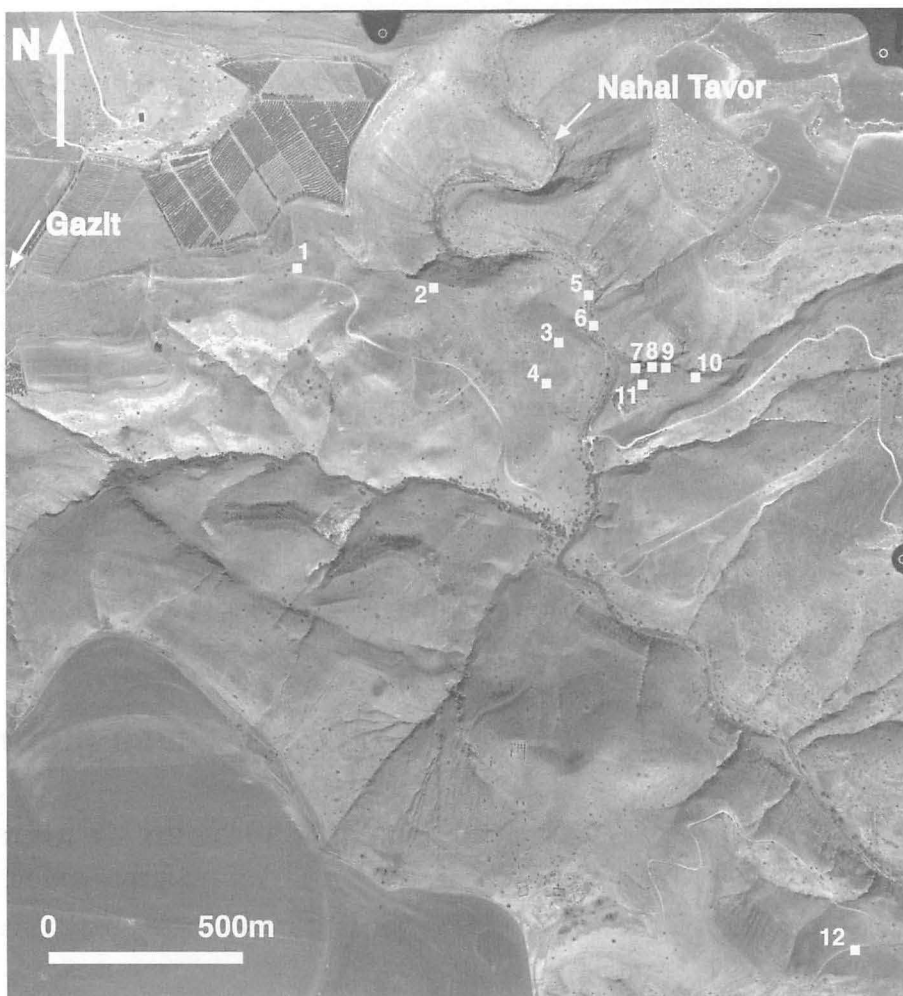
תחנות הסיור (איור 5)

תחנה 1 - תצפית על איזור הסיור

(על הדרך מקיבוץ מית לנחל תבור)

במבט מזרחה ודרומה ניתן לצפות בחתך הסטרטיגרפי של איזור הסיור, ובקשר בין המבנה הגיאולוגי למיקום הלוע הוולקני. החתך הסטרטיגפי על הגדה המזרחית של נחל תבור משתנה מצפון לדרום ומראה קשר ברור לשני מתלולים קדומים שכוונם מערב-צפון-מערב וצפון-מזרח (איורים 2, 3). בגוש הצפוני, המורם, החתך בנוי מבזלת תחתונה, מעליה יחידה דקה של גיר צדפות ("לומשל") (לא מסומנת במפה או על גבי התצלום), ומעליה תצורת גשר. בגוש המרכזי (דרומית למתלול הצפוני) בזלת תחתונה בבסיס החתך, ומעליה תצורות אום סבונה, בירה וגשר, ובגוש הדרומי (מעבר למתלול הדרומי), חתך דומה לזה של הגוש הצפוני, כלומר בזלת תחתונה, ומעליה יחידת ה"לומשל" ותצורת גשר. תצורת גשר מאוחרת לשני המתלולים ומכסה אותם. במבט דרומה ניתן להבחין בהעתק נוסף שכוונו צפון-מערב, המוריד את הגוש המרכזי (כולל תצורת גשר ובזלת הכיסוי) ומעמידו מול בזלת תחתונה ומעליה "לומשל" ותצורת גשר. ההבדלים הסטרטיגרפיים משני צידי העתק זה והיחידות המועתקות מעידים על שני שלבים בפעילותו: שלב ראשון לפני תצורת גשר, ושלב שני אחרי בזלת הכיסוי. הלוע הוולקני נמצא על הגבול בין הגוש הצפוני והגוש המרכזי.





איור 5. תחנות הסיור על גבי צילום אוויר.

תחנה 2 - מתלול (תבליט) קדום בבזלת התחתונה מערבית ללוע הוולקני

(כ - 200 מ' מזרחית לתחנה 1)

בערוץ נחל שיוייר נחל תבור נחשף מתלול בגג הבזלת התחתונה ועליו ברקציה המורכבת משברי הבזלת. מעל המתלול, באי התאמה, נמצאת תצורת בירה החוארית, נטויה מעט, שמתדקקת צפונה לעבר הגוש המורם. יחסים דומים בין הבזלת התחתונה, גופי ברקציה, ותצורות אום סבונה ובירה נצפים לאורך מספר קוים באיזור נחל תבור (למשל תחנות 7, 12), ובאיזורים סמוכים בגליל התחתון המזרחי (שולמן, 1962). בהמשך הסיור נצפה בגוף ברקציה זה בכמה נקודות נוספות לאורך קו שכיוונו 280° העובר בתחום הלוע הוולקני, ונדון במקור הברקציה.



תחנה 3 - תצפית על הלוע הוולקני של נחל תבור

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

במבט צפונה ומזרחה מנקודה זו ניתן להבחין בקירות הלוע הוולקני וביחידות הוולקניות הבונות את חלקו הפנימי. סלע הסביבה בו ממוקם הלוע הוא הבזלת התחתונה. בין הלוע לסלע הסביבה קירות אי-רגולריים. הלוע בנוי ברובו מסלעים פירוקלסטיים היוצרים מדרון מתון בנוף (תחנה 5). אל תוך הסלעים הפירוקלסטיים חדרו מספר דייקים (שניים מהם נראים מתצפית זו) בשתי מערכות ניצבות זו לזו (איור 6): צפון-מזרח וצפון-מערב. הדייקים מוגבלים לסלעים הפירוקלסטיים, והם מתדקקים ומתפצלים לקראת קיר הלוע.

תחנה 4 - גופי בזלת בתוך סלעים פירוקלסטיים

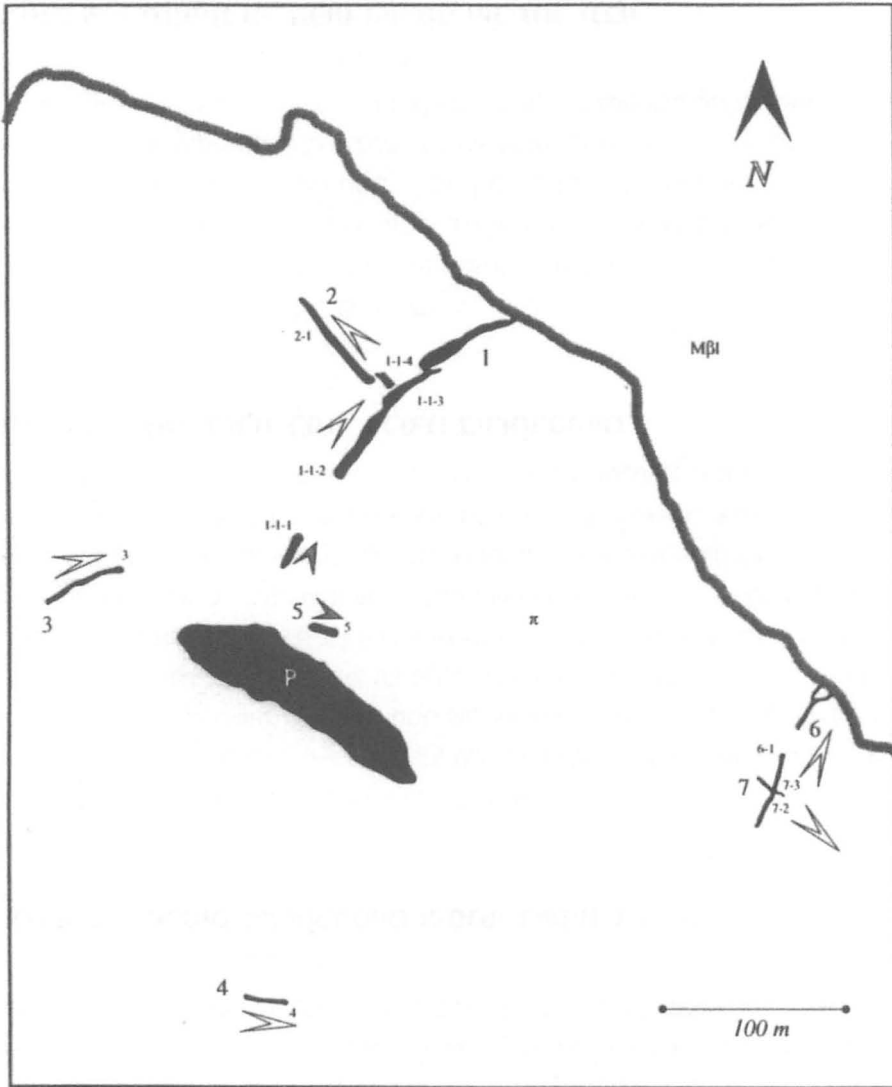
בקרבת הגבול הדרומי של הלוע מספר מחשופים של בזלת שחלקם נראים בנטייות שבין 10° ל- 60° דרומה. אהרון (1997) כינה גופי סלע אלה בשם "הדייקים הדרומיים", אך כי חלקם כמעט אופקי ובחלקם לא ניכר כלל מרכיב לוחי. גופי הסלע מוקפים סלעים פירוקלסטיים אדמדמים. מבחן קמט פליאומגנטי מראה שלא עברו הטייה מאוחרת להצבתם. עדויות השדה עד כה אינן מאפשרות הבחנה חד משמעית בין האפשרות שאלה גופי מחדר (דייקים, סילים או מחדרים אי-רגולריים) או זרמי בזלת נטויים על גבי מדרון קדום, אם כי נטייתם התלולה של כמה מהם תומכת באפשרות הראשונה. תארוך רדיומטרי של הגופים הללו מראה גילים של 11.3 ± 0.2 מ"ש (אהרון, 1997), ו- 7.78 ± 0.18 ו- 8.53 ± 0.19 מ"ש (א. היימן, תוצאות ראשוניות בע"פ). אלה גילים צעירים מגיל שאר גופי הבזלת בלוע (ראה בהמשך).

תחנה 5 - סלעים פירוקלסטיים ומפגש דייקים 1 ו- 2

(בערוץ הנחל ועל גדתו המזרחית)

הלוע בנוי ממגוון סלעים פירוקלסטיים הכוללים בעיקר טוף, סקוריה, ופצצות וולקניות. אל תוכם חוזרים שני הדייקים. דייק 1 בנוי משלושה קטעים שכוונם צפון-מערב (איור 6). יחסי החיתוך בין הדייקים אינם ברורים במבט שדה ולכן נבדקו באמצעות שחזור כיווני הזרימה של הדייקים באזור החיתוך. בסלע שנראה כשייך לדייק 1 התקבל כיוון זרימה מקביל לדייק 2, דבר שמצביע על כך שדייק 2 חדר לדייק 1 (אהרון, 1997). במעלה דייק 1 לכון קיר הלוע הדייק מידקק, ואינו חודר את סלע הסביבה הבזלתי. כיווני הזרימה בדייקים הם (איור 6): בדייק 1 זרימה תת-אנכית בחלקו הדרומי וזרימה אופקית מדרום מערב לצפון מזרח בהמשכו צפונה; בדייק 2 זרימה אופקית מדרום-מזרח לצפון-מערב (אהרון, 1997). תארוך רדיומטרי של שני הדייקים מראה גילים של 3.6 ± 0.2 מ"ש ו- 3.0 ± 0.5 מ"ש לדייק 1 ולדייק 2, בהתאמה (אהרון, 1997). תארוך שתי פצצות סקוריה בתחנה זו מראה גילים של 8.5 ± 0.4 ו- 9.0 ± 0.7 מ"ש.





מקרא:



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



תחנה 6 - דייק 5

(כ- 50 מ' במורד הנחל מתחנה 5)

כיוון הדייק מערב-צפון-מערב. בתחנה זו, שמכוסה לעיתים במי נחל תבור ניתן לזהות כמה עדויות שונות לכיוון זרימה תת-אנכי של הדייק. ראשית, קירות הדייק מראים הופעה גלית. צירי האורך של גלים אלה תת-אנכיים ומעידים על התקדמות תת-אנכית של הדייק (אהרון, 1997). בסלע הדייק בסמוך לקירותיו נראות בועות מאורכות, אף הן בכיוון תת-אנכי. בנוסף, גם כיוון הזרימה שמתקבל ממדידות AMS הוא תת-אנכי (איור 6). תארוך פצצת סקוריה מסלע הסביבה ליד הדייק בתחנה זו מראה גיל של 13.5 ± 0.2 מ"ש (אהרון, 1997).

תחנה 7 - גוף הברקציה

(100 מ' במעלה ערוץ צדדי מזרחית לנחל תבור)

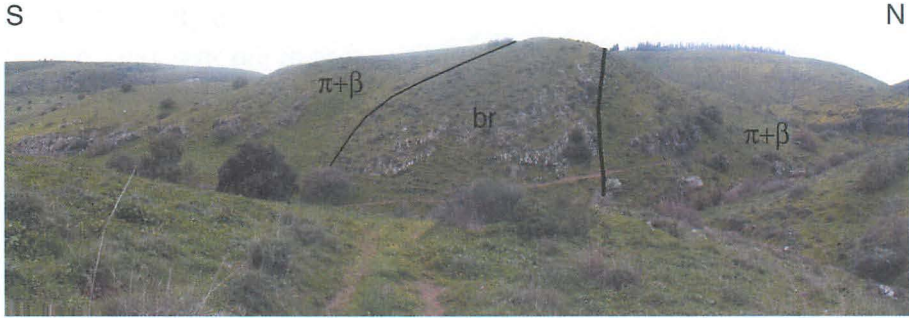
בתחנה זו ניתן להתבונן במרכיבי הברקציה, חלקי בזלת מזוותים בעיקר, ובנטיית גוף הברקציה, כ- 60° . בקטע זה, שגובל בלוע הוולקני, מחשופי גוף הברקציה שלאורך הערוץ אינם רצופים. יחד עם זאת, ניתן להבחין בליניאמנט שכיוונו 280° והנמשך מתחנה 2 עד לתחנה זו והלאה מזרחה, ולאורכו נחשף גוף הברקציה. במבט מערבה אל עבר המדה המערבית של נחל תבור, בצפיס יחסי השדה בין גוף הברקציה לאלמנטים אחרים בלוע (איור 7). בצפון נראים הסלעים הפירוקלסטיים של הלוע ובתוכם גוף מחדר בזלתי ("המחדר העיקרי" - אהרון, 1997) במגע אנכי חד עם גוף הברקציה. רוחב גוף הברקציה כ- 100 מ' ונראה בו שיכוב מסויים בנטיה של כ- 30° דרומה. בהמשך דרומה, שוב מופיעים הסלעים הפירוקלסטיים וגופי הבזלת מחלקו הדרומי של הלוע (ראה תחנה 4).

תחנה 8 - מפגש דייקים 6 ו- 7

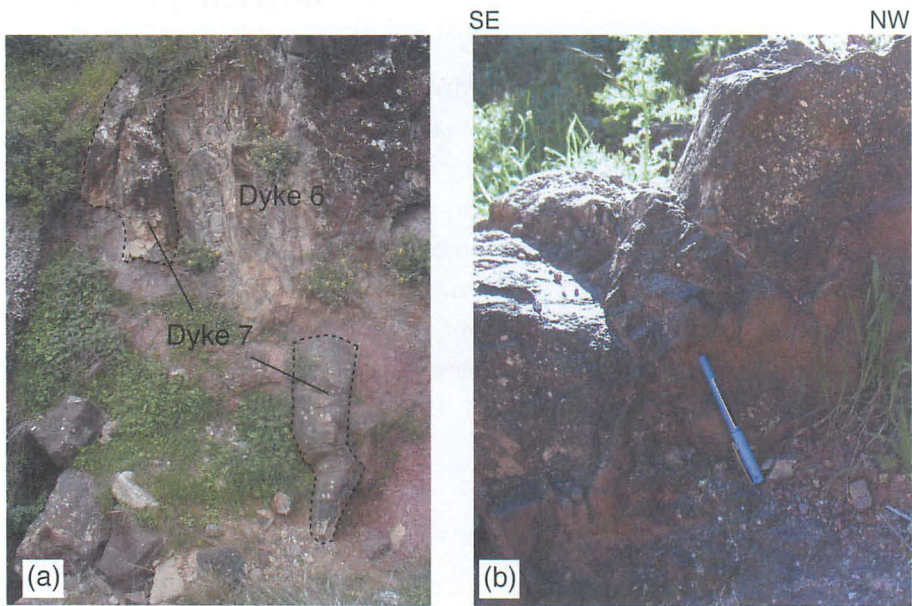
(כ- 50 מ' במעלה הערוץ)

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





איור 7. תצפית על הגדה המערבית של נחל תבור ובה נראים יחסי השדה בין גוף הברקציה (br) לבין הסלעים הוולקניים של הלוע ($\pi+\beta$).



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

תחנה 9 - מגע בין גוף הברקציה והסלעים הפירוקלסטיים

(כ- 50 מ' במעלה הערוץ)

בתחנה זו מופיע מחדש גוף הברקציה ומכאן מזרחה הוא רצוף. נצפים כאן בברור יחסי חיתוך (חדירה) של הסלעים הפירוקלסטיים אל גוף הברקציה. יחסים אלה מצביעים על קיומה של הברקציה לפני הפעילות בלוע. מבחן קונגלומרט פליאומגנטי במרכיבי הברקציה מראה פיזור



אקראי לחלוטין של הוקטורים המגנטיים, שמעיד על מקור סדימנטרי של הברקציה. מכאן, ומשאר עדויות השדה שתוארו עד כה, ניתן להסיק שגוף הברקציה הצטבר כטאלוס (קולוביום) לאורך מדרון תלול בבזלת התחתונה שכיוונו 280° . מדרון זה נפרץ על ידי הסלעים הפירוקלסטיים של הלוע הוולקני.

תחנה 10 - תצורת אום סבונה

(כ - 50 מ' נוספים במעלה הערוץ)

הגדה הדרומית של הערוץ וקרקעיתו בנויים מתצורת אום סבונה, שנחשפת בחלקה על ידי גלישה רחבה. בחלקו התחתון של החתך חואר צהבהב עם פצצות וולקניות וחלוקי בזלת שגודלם מגיע לעיתים עד כמה עשרות ס"מ. החלוקים מעוגלים ומצופים בכיסוי ברזלי חלק, בדומה לחלוקים שנצפו בלוע של מעלה העצמאות במכתש רמון (Garfunkel and Katz, 1967), שם הוסברה צורתם במנגנון גלגול תוך כדי עליה בצינור ההזנה של הלוע. במעלה החתך, מעבר הדרגתי לתצורת בירה, כאשר החתך באיזור המעבר בנוי חואר עשיר במרכיבים וולקניים, כגון בזלת וסקוריה (ספריטים), ועדשות קונגלומרט, ובחלקו העליון אבני חול וולקנוגניות שהן סלע קלסטי דק הבנוי בעיקר מרכיבים וולקניים מעוגלים. בכל חלקי החתך נמצאו מאובנים של מים מתוקים (אהרון, 1997). סמיכות התוצרים הוולקניים בחלק התחתון של תצורת אום סבונה ללוע של נחל תבור והגיל הצעיר (כ - 8 מ"ש) של פצצות וולקניות מהלוע וגופי בזלת מחלקו הדרומי של הלוע מעלים אפשרות שמקורם בהתפרצויות מהלוע הסמוך, תוך כדי השקעת התצורה. תצורות אום סבונה ובירה בתחנה זו נטויות מעט דרומה, בדומה לנטיות שנצפו בתחנה 2. נטיות אלה בסמיכות למתלול הקדום מרמזות על פעילות טקטונית, כנראה שבירה והשתפלות באגן, במשך השקעת שתי התצורות.

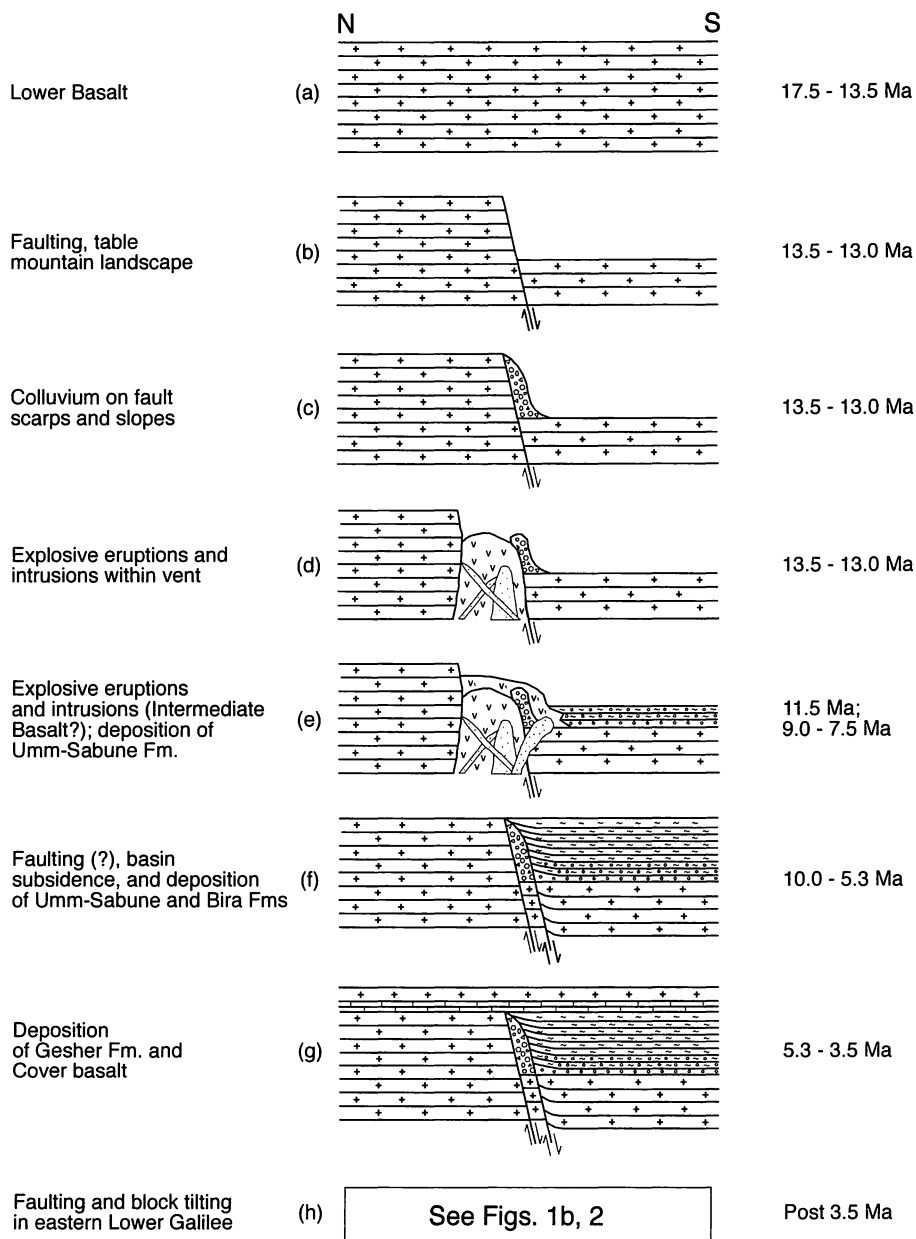
תחנה 11 - סיכום: ההסטוריה המגמטית והטקטונית של הלוע הוולקני

וסביבתו (איור 9)

(גבעת האנדרטה, סמוך לתחנות 9 ו-10)

בנחל תבור נחשף חלקו הרדוד של לוע וולקני מיוקני, שמהווה חלק ממערכת הבזלת התחתונה. ההתפרצות של הר הגעש התרחשה דרך סלעי בזלת זו, ותוצרי ההתפרצות שהגיעו אל פני השטח נחשפים מעט מדרום ללוע. מיקום הלוע מוכתב על ידי העתק מיוקני בין גוש צפוני מורם, הבנוי מהבזלת התחתונה, וגוש דרומי ירוד, בו הצטברו מאוחר יותר תצורות אום סבונה ובירה (איור 9). גיל ההעתקה כ - 13.5 מ"ש (גיל גג הבזלת באיזור הלוע). על גבי מתלול ההעתק הצטבר טאלוס שמורכב בעיקר מתוצרי הבלייה של הבזלת התחתונה שהתלכדו עם הזמן לכדי יצירת ברקציה. ההסטוריה הוולקנית של הלוע מתחילה אף היא לפני כ - 13.5 מ"ש בהתפרצות סלעים פירוקלסטיים (טוף, סקוריה ופצצות וולקניות). מעט לאחר ההתפרצות הוצבו גופי מחדר לווחיים (דייקים) ואי-רגולריים בתוך הסלעים הפירוקלסטיים. הדייקים חדרו בשתי מערכות: צפון מזרחית ולאחר מכן צפון מערבית.





 Basalt flows

 Breccia

 Pyroclastics (1st phase)

 Pyroclastics (2nd phase)

 Basalt (intrusions)

 Conglomerate

 Marl

 Limestone

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



גופי המחדר לא חרגו מתחום הלוע אל סלעי הסביבה הבזלתיים. מדידות גיל בסלעי הלוע (זרמים ופצצות וולקניות) מצביעות על התפרצויות נוספות שגילן בערך 11.5 מ"ש וכן בזמן הבזלת התיכונה (9 - 7.5 מ"ש). מרכיבים פירוקלסטיים בסלעי תצורת אום סבונה בסמוך ללוע תומכים באפשרות זו. גם לאחר סיום הארוץ הוולקני, המשיך להתקיים באיזור נוף מורפוטקטוני של גושים מורמים, וביניהם אזורים משתפלים (לאורך העתקים) בהם שקעו התצורות האגמיות אום סבונה ובירה. חדירה ימית שבעקבותיה הורבדה תצורת גשר כיסיה את כל האיזור. תצורת גשר כוסתה בפליוקן על ידי זרמי בזלת הכיסוי. לאחר בזלת הכיסוי התרחשה באיזור פאזה נוספת של שבירה, כאשר בפאזה זו נוצרו המבנים הנטויים של הגליל התחתון והעמקים הצפוניים. חלק מההעתקים הקדומים חידשו את פעילותם (באותה מגמה) באירוע העתקה זה.

תחנה 12 - תצפית על מאפייני הנוף המיוקני של האיזור

(נסיעה במודר נחל תבור ברכב 4x4. עליה בדרך צדדית לתצפית בנצ. 1950022590)

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

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

מקורות

אהרון, ל., 1997. מערכת מגמטית רדודה מגיל מיוקן, הלוע הוולקני של נחל תבור. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/13/97, עמ' 91.

אהרון, ל., בר, ג., עגנון, א., 1995. הלוע הוולקני בנחל תבור. מדריך סיור, כנס החברה הגיאולוגית, זכרון יעקב, עמ' 43-21.

אופנהיים, מ., 1959. התופעות הוולקנולוגיות של הגליל התחתון הדרום מזרחי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, עמ' 177.



בגין, ז.ב., זילברמן, ע., 1997. השלבים והקצב של התפתחות התבליט בארץ ישראל. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/24/97, 63 עמ'.

בר, ג., 1989. מחדרים מגמטיים במכתש רמון, ישראל: מכניקת החדירה והשלכות סטרוקטורליות. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/48/89, 88 עמ'.

דיקר, ת., 1964. הגיאולוגיה של אזור עמק יזרעאל המרכזי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

שולמן, ב., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 103 עמ'.

שליב, ג., 1991. שלבים בהתפתחות הטקטונית והוולקנית של האגן הנאוגני בגליל התחתון ובעמקים. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים, דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/11/91, 94 עמ'.

Baer, G., 1995. Fracture propagation and magma flow in segmented dykes: field evidence and fabric analyses, Makhtesh Ramon, Israel. In: Baer, G. and Heimann, A. (eds), *Physics and Chemistry of Dykes*, Balkema, Rotterdam, 125-140.

Blake, G.S., 1928. *Geology and water resources of Palestine*, Govt. of Palestine.

Dicker, T., 1969. Geology of central Yizre'el valley. *Isr. J. Earth Sci.*, 18, 39-69.

Garfunkel, Z., and Katz, A., 1967. New magmatic features in Makhtesh Ramon, southern Israel. *Geological Magazine*, 104, 608-629.

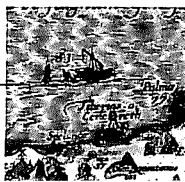
Knight, M.D., and Walker, G.P.L., 1988. Magma flow directions in dikes of the Koolau Complex, Oahu, determined from magnetic fabric studies. *J. Geophys. Res.*, 93, 4301-4319.

Oppenheim, M.J., 1962. The geology of the southeastern Galilee lava fields. *Bull. Res. Coun. Isr.*, 11G(2), 58-84.

Pollard, D.D., Muller, O.H., and Dockstader, D.R., 1975. The form and growth of fingered sheet intrusions. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86, 3, 351-363.

Rosenfeld, A., Segev, A., Halbersberg, E., 1981. Ostracode species and paleosalinities of the Pliocene Bira and Gesher Formations (northwestern Jordan Valley). *Isr. J. Earth Sci.*, 30, 113-119.

Shelley, D., 1985. Determining paleo-flow directions from groundmass fabrics in Lyttelton radial dykes, New Zealand. *J. Vol. and Geotherm. Res.*, 25, 69-79.



סיור החברה הגיאולוגית הישראלית במצד עתרת (Vadum Iacob)

שמוליק מרקו

החוג לגיאופיזיקה ומדעים פלנטריים, אוניברסיטת תל אביב, ת"א

רוני אלנבלום

המחלקה לגיאוגרפיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים

אמוץ עגנון

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, ירושלים

רבקה קלדרון

מוזיאון ארץ ישראל, ת"א

הסיור נועד להכיר את מצודת ואדום יעקוב שבתל עתרת, את מקורות אבני הבנין של המצודה, ואת העדויות להעידות האדמה שפגעו באתר.

הקדמה

העדות הגיאולוגית הראשונה לשבירת פני שטח לאורך העתק ים המלח התגלתה תוך חפירות ארכיאולוגיות שהחלו ב-1993 במצודה הצלבנית המונומנטלית ואדום יעקב הבנויה באתר שנקרא כיום 'תל עתרת'. בחפירות שנוהלו בידי רוני אלנבלום ואדריאן בועז נמצא שחומות צלבניות בכיוון מזרח-מערב הוסטו שמאלה 2.1 מ' על העתק בכיוון צפון-דרום. קיר מסגד מהתקופה העותמנית מוסט כחצי מטר. עם התקדמות החפירות הארכיאולוגיות באתר התגלה מבנה גדול שתוארך על פי חרסים ובפחמן 14 לתקופה ההלניסטית. המבנים ההלניסטיים קרועים על ידי ההעתק אך טרם נמצא המשכם מעברו השני. ההעתק ניכר גם באמת מים כ-200 מ' דרומית למצודה.

על מנת ללמוד את מספר אירועי ההעתקה האחרונים ותזמונם חשפנו את ההעתק בתוך המצודה במקביל לביסוס סטרטיגרפיה של משקעים וקרקע בסמוך לחומה הדרומית. החתך המאוחר לתקופה הצלבנית מראה שני אירועי תזוזה על ההעתק שחוצה את המצודה. המחקר משלב תצפיות אלה עם מידע היסטורי על בניית המצודה, כיבושה, ורישומים של רעידות אדמה הרסניות. הניתוח מראה שהמצודה הצלבנית הועתקה 1.6 מ' ברעידה של 20.5.1202 ושוב במידה קטנה יותר, 0.5 מ', ב-30.10.1759. במחקר פאליאוסיימי בבקעת בית ציידה בקצה הדרומי של העתק הירדן נמצאו אפיקי נחלים שהועתקו 2.2 מ' ברעידה של 1202 ו-0.5 מ' ב-1759 (Marco et al., 2000).

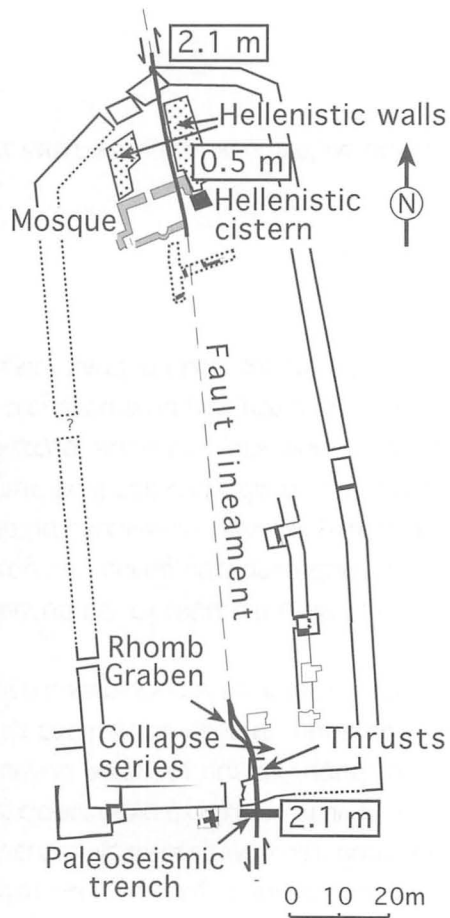


מצודת ואדום יעקב (תל עתרת)

מצודת ואדום יעקב מתוארכת בדיוק ארכיאולוגי חסר תקדים: אבן הפינה הונחה באוקטובר 1178; המצודה הבלתי גמורה נכבשה ונהרסה בידי כוחות סאלח אל-דין כעבור 11 חודשים, ב-30 באוגוסט, 1179. זהו האתר בעל משך החיים הקצר ביותר המוכר לנו בארכיאולוגיה הישראלית. סלאח אל-דין יסד במקום מסגד מוסלמי אבל לא התקיים ישוב באתר אחרי הכיבוש המוסלמי. חשיבות המקום לשני הצדדים הלוחמים - הצלבנים מצד אחד והמוסלמים מצד שני - מצאה ביטוי בשלל הכתבים והמקורות ההיסטוריים המאפשרים הצלבה ואימות של התיאורים. אסטרטגית, המצודה שולטת במעברות הירדן מדרום לגשר בנות יעקב (ומכאן שמה הלטיני). במאה ה-12 המצודה המשתרעת על 150 מ' אורך ו-50 מ' רוחב (ציור 1) היתה מהגדולות שבממלכה הלטינית של ירושלים (Ellenblum 1998).



1. תצלום אוויר משמאל מראה את האתרים העיקריים באזור הסיוור. BYF מציין את מחשוף תצורת גשר בנות יעקב.



עד לאמצע חודש אפריל 1179 הספיקו הצלבנים להקים חומה שהקיפה את המבצר. חומת המיגון בעובי 4 מטר המקיפה את האתר מורכבת מצמד קירות תמך מאבני גזית מסותתות ומישרות בקפידה וביניהם מילוי בעובי כשלושה מטר. התמיכות חצובות מקירטון גדות והמילוי עשוי חלוקי בלתי מלוכדים בטיט. הבניה הצלבנית מצטיינת בדיוקנות המאפשרת קביעה מדויקת של ההסטה המאוחרת לשנת 1179. מיד לאחר אפריל 1179 המוסלמים ניסו לקנות את המבצר והיו מוכנים לשלם בעבור החומה מאה אלף מטבעות זהב (מכאן ניתן ללמוד על מחיר האבן והעבודה בימי הביניים).

הצלבנים לא הספיקו לבנות ברוב השטח שבפנים המבצר. למעשה הם השלימו את הבנייה של 15% משטח המבצר. בחלק הצפוני הם הותירו ארמון-מבצר הלניסטי גדול. מתחת לשכבה ההלניסטית יש שכבות נוספות (ברזל, ברומה מאוחרת וברומה קדומה). הרס נוסף נגרם למבצר ברעידת אדמה שנבעה מתזוזה על העתק ים המלח ב-20 במאי 1202 עם עלות השחר. התזוזה גרמה להסטה שמאלית בשעור של 1.6 מ' בחומות המבצר. רעידת אדמה שניה קרעה את המבצר ב-30 באוקטובר 1759 וגרמה להסטה נוספת בשעור של 0.5 מ'.

גם הארמון ההלניסטי נקרע ברעידות אדמה בשעור שאיננו ידוע עדיין. השלמת התמונה של המבנה ההלניסטי תאפשר תיעוד ההעתקות בכ-2000 השנים האחרונות.

תחנות הסיוור

הסיוור ייערך במבנים שמהם ניתן ללמוד על דרך הבניה של מצודה צלבנית ומבנים שמאפשרים תאור והבנה של המעוות סמוך להעתק.

סוללת העפר

המצודה מוקפת מדרון תלול מלאכותי שהיה צורך להסירו כדי לחשוף את חומות המגן. חפירות הראו שהקרקע במדרון נשפכה מחומר שהיה בתל בשטח החומות ומכיל חרסים מהתקופה ההלניסטית ותקופות קדומות יותר. סוללת הקרקע השפוכה מכסה את ששה הנדבכים הראשונים בחומה עד למפלס המפתן של השערים. מבני אבן תומכים את העפר בסוללה במקומות ונראה ששימשו פיגומים לבנאים. הסוללה בנויה משתי יחידות שכל אחת מהן מכוסה בטיט לבן בעובי כשני ס"מ. שכבות טיט הדקות המופיעות מעל הנדבך השלישי ומעל הנדבך הששי מקיפות את החומות ברציפות. בכל החתכים נמצאו בשכבת הטיט העליונה ראשי חץ ושרידיים נוספים מהמצור המתארכים את גג השכבה לסוף אוגוסט, 1179.



החומה בצפון המצודה

באזור המפגש של ההעתק עם הקיר הצפוני נחשפת העתקה בשיעור של כ-2 מ'. ההעתקה מפוזרת על פני אזור ברוחב כ-10 מ'. בניגוד למחשופים סמוכים (כ-7 מטר מערבה) סוללת השפוכת באזור ההעתק אינה מראה שיכוב מסודר ונראה כי סבלה דפורמציה.

מבצר הליניסטי

הארכיאולוגים מזהים בתל את מקומה של אנטיוכיה של הגולן שחרבה ככל הנראה גם בזמן אלכסנדר ינאי אך נבנתה ככל הנראה שוב עד לנטישתה במאה הראשונה אחרי הספירה. שרידי המבצר ההלניסטי נפגעו רק חלקית על ידי הצלבנים. הם הוסטו במידה ניכרת על ידי רעידת האדמה. המחקר בשנתיים האחרונות מתמקד בנסיין לאמוד את שיעור ההסטה מן התקופה ההלניסטית ועד להווה.

מסגד

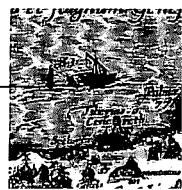
בחלק הצפוני של המבצר ובשיא הגבעה נחשף אתר מוסלמי קדוש שקירו הצפוני נקרע בתנועה לטרלית שמאלית כחצי מטר. ככל הנראה זהו "משהד יעקובי" שבו לפי המסורת המוסלמית התאבל יעקב אבינו משנדע לו כי "טרוף טורף יוסף".

"מחרב" (גומחת תפילה) נשמר היטב בקיר הדרומי, אך קמרון התקרה התמוטט ישירות על הרצפה. המסגד נחרב ונבנה מחדש לפחות פעמים: המבנה יוסד בתקופה האיובית (מאה 12-13) כנראה מיד לאחר הכיבוש. המבנה נבנה מחדש באופק רצפה גבוה יותר בתקופה העותומנית (1517-1917) על פי מקטרות שנמצאו בחפירה. ההסטה האמורה נמצאה בקיר החדש ביותר מהתקופה העותומנית. למרבה הצער חלק מהקיר התמוטט ואין אפשרות לצפות עוד במישור ההעתק. ניתן למדוד את שיעור ההעתקה על ידי השוואת מיקום הפינה הצפון-מזרחית עם המשך הקיר מערבה משם.

הרעידות המועמדות להרס המסגד העותומני התרחשו ב-30 באוקטובר 1759 וב-1 בינואר 1837. זאת בהתעלם מ"רעידת ארץ הקודש" מה-14 בינואר 1546, שלפי Ambraseys and Karcz (1992) זכתה לתהודה מוגזמת במקורות ההיסטוריים ועיקר מקיה היו בהרי יהודה. על פי Ambraseys (1997) הרעידה של 1837 היתה על העתק רום שבדרום לבנון. פיזור המק של הרעידות הללו מוביל למסקנה שהמסגד הועתק ברעידה של 1759.

החומה בדרום המצודה

חומת המיגון בעובי 4 מטר המקיפה את האתר מורכבת מצמד קירות תמך מאבני גית מסותתות חצובות מקירטון גדות. עובי אבני הגית 0.5 מטר והן מיושרות בקפידה. בין קירות התמך מילוי עשוי חלוקי בזלת מלוכדים בטיט בעובי כשלושה מטר. ההסטה נחשפת במלואה בחומה הדרומית ממזרח לשער העיקרי ושיעורה שם 2.1 מטר. החומה הדרומית באורך של כ-50 מטר חוצה את



הגבעה בכיוון מדוייק מזרח-מערב. כל תזוזת גזירה צפון-דרום תראה העתקה נקיה על קיר זה; התזוזה שנרשמת בקיר מודדת את סך התזוזה מ-1179. ההעתקה בקיר הדרומי מפוזרת על אזור ברוחב כ-10 מטר שם היא מתבטאת בהסטות קטנות של אבני חומה וסיבובן. ביטוי בולט לעיוות ניתן ע"י מנעול הבריח - אבן גזית שבתוכה חריץ בעומק כ-20 ס"מ - שבמקור היתה מונחת בהמשך השער ובמקביל לו, ועתה היא מוסטת כמטר אחד צפונה, מסובבת 15 מעלות נגד כיוון השעון, ושבורה ע"י העתק של ס"מ ספורים. כל ההסטות בקיר הדרומי אופקיות בכיוון צפון-דרום, וכל צירי הסיבובים של הגושים אנכיים.

סקרים גיאופיזיים

מכות המידע הקיים אודות המבנה הגיאולוגי של התל והחפיחות שיחשפו את האתרים הארכיאולוגיים שבו ניתן לבחון במקום את היכולות של מספר שיטות מחקר גיאופיזי. סקרי דאר חודר קרקע בוצעו על ידי אורי בסון מחברת "גיאוסנס" מחוץ לחומות (Marco et al., 1997) ועל ידי עמית רונן מהמכון הגיאופיזי בתוך שטח המצודה. סקר שדה מגנטי בוצע על ידי סוניה איטקיס מאוניברסיטת בן גוריון במרכז המצודה. סקר חשמל בוצע על ידי רן בכרך מאוניברסיטת מישגן. סקר רפרקציה סייסמית בוצע על ידי בועז גטניו, יעל סגל ותומר סיימון מאוניברסיטת תל אביב. אנליזות פאליאומגנטיות של דפנות בור הסיד הצלבני שמצפון למצודה והתנור בפניה הדרום מזרחית של המצודה בוצעו על ידי יעל סגל מאוניברסיטת תל אביב. חלק מהתוצאות יוצג בסיוור.

תעלה פאליאויסמית

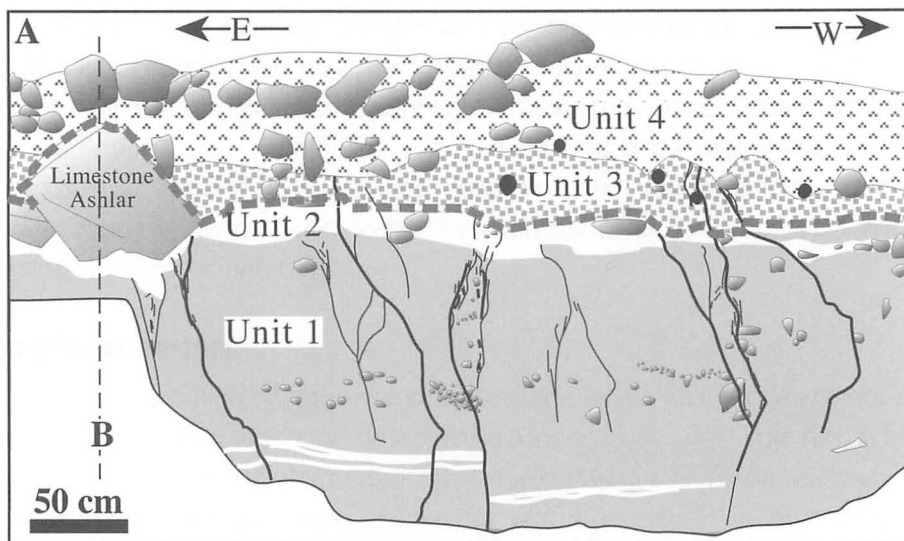
תיעוד מפורט של תעלה בסוללה הדרומית (ציור 2) מאפשר תיארוך של תזוזות על ההעתק, שם ביטוי האופקי מובהק. התעלה מוקמה כאן כדי להבהיר את ההיסטוריה של התזוזות שנרשמו על החומה הדרומית שהינה המרכיב הלינארי הרציף היחיד שחוצה את אזור המצודה ממזרח למערב (Ellenblum et al., 1998).

הסדימנטים שנחשפו בתעלה מורכבים משלוש יחידות:

יחידה 1 מורכבת משכך העפר שכיסה את שישה הנדבכים התחתונים. היחידה מכילה חרסים הלינסטיים ועתיקים יותר.

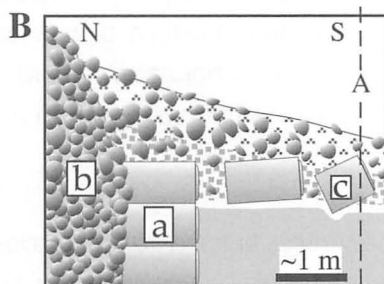
יחידה 2 דקה (עד 10 ס"מ) ומורכבת מטיט לבן. היחידה מוכרת מכל החתכים שסביב המבצר ותמיד היא מכסה על יחידה 1. ראשי חץ, כלי בניה, אבני גזית, וסימנים נוספים למצור נמצאו מונחים מיד מעל ליחידה זו, והם מצביעים שיחידה זו היוותה פני שטח באוגוסט, 1179. לפיכך יחידה זו משמשת סמן זמן מדוייק. אחד המקורות המוסלמיים ציין שסלאח אל-דין "עקר במו ידיו את אבני החומה והרס אותה כמוחק אותיות מקלף". תיאור זה מסביר את האנדלמוסיה בה זרוקות אבני גזית מקיר התמך החיצוני של החומה הדרומית ישירות על יחידה 2, תוך עיוותה על ידי כובד האבנים (ציור 2). נראה כי אבני הגזית הושלכו מיד בתום הקרב או אף במשך המצור בסוף אוגוסט, 1179.





Legend

- 1 August 1179 datum ————
 - Bee-eater nests ●
 - Cobble ○
 - Fault/shear crack
 - Pebble-rich soil
 - Colluvium
 - Lime surfaces
 - Crusader infill
- Unit 4 } Post A.D. 1179
 Unit 3 }
 Unit 2 } Pre A.D. 1179
 Unit 1 }



2. מפה של דופן התעלה שצמודה לחומה הדרומית. הסבר ליחידות השונות נמצא בגוף הטקסט.

יחידה 3 מונחת על שכבת הטיט (יחידה 3) כסריז של קולוביום. היחידה בנויה קרקע ומכילה חלוקי בזלת גדולים לרוב. נראה כי חלוקי הבזלת נפלו ממילוי החומה לאחר שקיר הגזית הוסר. יחידה 3 הצטברה כנראה כאשר מלט המילוי הפנימי של החומה התפורר, במאות השנים שאחרי הכיבוש המוסלמי. לפיכך יחידה 3 מייצגת תקופה שהחלה לקראת סוף 1179 ונמשכת עד ימינו. 20-30 הסי"מ העליונים המחפים על יחידה 3 הם תוצאת ביוטורבציה באופק A של הקרקע המכיל בירות ושורשים.

חרך התעלה מראה שתי מערכות של סדקים ומישורי העתקה. המערכת הראשונה מעתיקה את השפכים מיחידה 1 ואת אופק הטיט מיחידה 3, אך אינה מסיטה את היחידה שמעל. לעומת



זאת המערכת השניה של הסדקים ומישורי ההעתקה מסיטה גם את הקולוביום של יחידה 2, עד לבסיס אופק הקרקע, ויתכן שעד פני השטח. תצפיות אלה מצביעות כי לפחות שני אירועים גרמו להעתקת 2.1 מ' הרשומה בחומה הדרומית. ההעתקה הראשונה קרתה זמן קצר לאחר שהחומה החיצונית נפגעה ולפני צבירת משקעים ניכרים, כלומר בסמוך לאחר 1179. רעידה נוספת יצרה קריעת פני שטח זמן ניכר אחרי פירוק החומה כאשר חלק נכבד מהקיר הפנימי כבר התפורר והצטבר על משטח הטיט של 1179 (יחידה 2), בתקופה קרובה יותר להווה.

רצפות מעוותות

קמרון ממוטט גילה תחתיו שפע ארכיאולוגי וגיאולוגי: על הרצפות שמתחת לקמרון נמצאו שני שלדי סוסים וכן מטבעות צלבניים המתארכים את הרצפות והקמרון הממוטט עליהן מעבר לכל ספק. בסמוך לשלד סוס אחד נמצאו מספר ראשי חנית וחצים ויתכן שהם חצי האוייב שהכריעו אותו. הרצפה הדרומית ביותר (ממזרח לכניסת השער הדרומי ובסמוך לחומה הדרומית) מראה עיוותים וסידוק ואף העתק הפוך בסטרייק צפ'-מז' דר'-מע', עקבי עם מירה שמאלית על כיוון צפון-דרום. ההעתקה על כל ענף של ההעתק מגיעה ל-1.5 ס"מ. מבנים דוגמת העתק זה מחייבים ריצפה קשה מאד הן כדי להיווצר והן כדי להשמר. סדקי מתיחה ניצבים לסטרייק של ההעתק נפוצים ברצפות.

גראבן על Releasing bend

צפונה מהשער הדרומי ההעתק הראשי נכסף מערבה כהעתק נורמאלי (15 ס"מ העתקה) ועוקף ממערב אומנה בגודל 4x4 מ'. צפונה ההעתק ניכר כגראבן ברוחב כ-2 מ' שבו רצפת טיט צלבנית נמוכה ב-0.5 מ' משאר הרצפה.

אמות מים צלבניות מוסטות

אחת מאמות המים בנויה אבנים מתצורת גדות שנחצבו ככל הנראה רק על ידי הצלבנים. בחפירה מקומית הסתבר שהאמה מוסטת בשעור של כ-1.6 מ', שעור המתאים להסטה ברעידת האדמה של 1202. אנחנו מסיקים מכך שהיא הייתה קיימת בתקופה הצלבנית וככל הנראה נבנתה על ידי הצלבנים. באמה שמוליכה אל טחנת הקמח המוכרת כיום כטחנת עתרת, זו שפעלה עד שנות השלושים של המאה ה-20 אין העתקה כלל. הטחנה בנויה על יסודות הטחנה הצלבנית.

בית הטחנה הצלבני

אמת המים המוסטת מוליכה אל בית טחנה התלוי באספקת המים המגיעה ממנה. אנחנו מסיקים מיחסי השדה האלה שהטחנה היא צלבנית ואנחנו מסיקים גם שחלק ממנה פסק מלפעול ברעידת האדמה של 1202.



מעוות בתצורת בנות-יעקב

משקעי אגם מתקופת הפלייסטוקן עתירים בכלים אשליים (Goren-Inbar et al., 2000) נחשפים ממזרח ובסמוך למבצר שם הם נוטים 60 מעלות מזרחה (Goren-Inbar and Picard, 1963 and Heimann, 1989). המשקעים מונחים על שפך של "בזלת ידה" מגיל 0.8-0.9 מליון שנה (Ron, 1993 and Marco et al., 1997). שריטות אופקיות בכיוון צפון על בזלת שנחשפת כ-50 מטר מדרום למבצר הביאה את בליצקי (בע"פ, 1994) לחשוך שהעתק תנועה אופקית חוצה את גבעת המבצר.

בור הסיד

בור הסיד שבו שרפו גיר לצורך ייצור טיט הוא אחד מהגדולים ביותר מסוגו שנמצא עד כה בארץ. הבור מדופן באבני בזלת שנאספו בסביבה. שינוי בצבע הבזלת ניכר בצד הפונה לפנים הבור, כנראה תוצאת השריפה. במדידות של השדה המגנטי נמצא שאבני הבזלת שבדפנות הבור ממוגנטות באותו כיוון. אנו מסיקים מכך שהבזלת רכשה מיגנטו חדש כתוצאה מהחום ששרר במקום בזמן קליית הגיר.

מחצבות המבצר

לצורך בניית המצודה הצלבנים הקימו שתי מחצבות לפחות. מחצבה אחת לגושי בזלת גדולים שמתאימים לסיתות איכותי נמצאת בשפך של בזלת משובחת במיוחד ליד קיבוץ גדות. מחצבה שנייה של גיר מאיכות ירודה למדי (אבל זה מה שיש) בתצורת גדות בגבעה שממערב לעתרת. ההפסקה הבלתי מתוכננת של בניית המצודה מאפשרת שיחזור של כל שיטות העבודה מימי הביניים. בסיוור נציג את שיטות החציבה והכלים הצלבניים שנמצאו באתרם.



- Ambraseys, N., 1997. The earthquake of 1 January in southern Lebanon and northern Israel. *Annali di Geofisica*, 40: 923-935.
- Ambraseys, N., and Karcz, I., 1992. The earthquake of 1546 in the Holy Land. *Terra Nova*, 4: 253-262.
- Ambraseys, N. N., and Barazangi, M., 1989. The 1759 earthquake in the Bekaa valley: Implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediterranean region. *J. Geophys. Res.*, 94: 4007-4013.
- Ambraseys, N. N., and Melville, C. P., 1988. An analysis of the eastern Mediterranean earthquake of 20 May 1202. In: Lee, W. K. H., Meyers, H. and Shimazaki, K. (Editors), *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*. Academic Press, San Diego, California, 181-200.
- Amiran, D. H. K., Ariei, E., and Turcotte, T., 1994. Earthquakes in Israel and adjacent areas: Macroseismic observations since 100 B.C.E. *Israel Exploration Journal*, 44: 260-305.
- Ellenblum, R., 1998. *Frankish Rural Settlement in the Latin Kingdom of Jerusalem*: Cambridge University Press, Cambridge, England, 321 pp.
- Ellenblum, R., Marco, S., Agnon, A., Rockwell, T., and Boas, A., 1998. Crusader castle torn apart by earthquake at dawn, 20 May 1202. *Geology*, 26: 303-306.
- Goren-Inbar, N., and Belitzky, S., 1989. Structural position of the Pleistocene Gesher Benot Ya'akov site in the Dead Sea Rift zone. *Quaternary Research*, 31: 371-376.
- Goren-Inbar, N., Craig, F. S., Verosub, K. L., Melamed, Y., Kislev, M., Tchermov, E., and Saragusti, I., 2000. Pleistocene milestones on the Out-of-Africa Corridor at Gesher Benot Ya'akov, Israel. *Science*, 289: 944-947.
- Heimann, A., and Ron, H., 1993. Geometric changes of plate boundaries along part of the northern Dead Sea Transform: Geochronologic and paleomagnetic evidence. *Tectonics*, 12: 477-491.
- Marco, S., Agnon, A., Ellenblum, R., Eidelman, A., Basson, U., and Boas, A., 1997. 817 year-old walls offset sinistrally 2.1 m by the Dead Sea Transform, Israel. *Journal of Geodynamics*, 24: 11-20.
- Marco, S., Rockwell, T. K., Agnon, A., and Heimann, A., 2000. Precise slip and time of historical earthquakes determined by 3D trenching and archaeological structures, Dead Sea Transform, Israel. *EOS Transactions*, 81: F1203.
- Picard, L., 1963. The Quarternary in the Northern Jordan Valley. *Proceedings, Israel Academy of Sciences and Humanities*, 1(4): 1-34.





סלעי טופה ומי המעינות והנחלים בצפון החולה

דפנה גור, איתן שש

האוניברסיטה העברית, ירושלים

מרים בר-מטוס, אריאל הימן

המכון הגיאולוגי, ירושלים

1. מבוא ותצפית אל עמק החולה

רקע

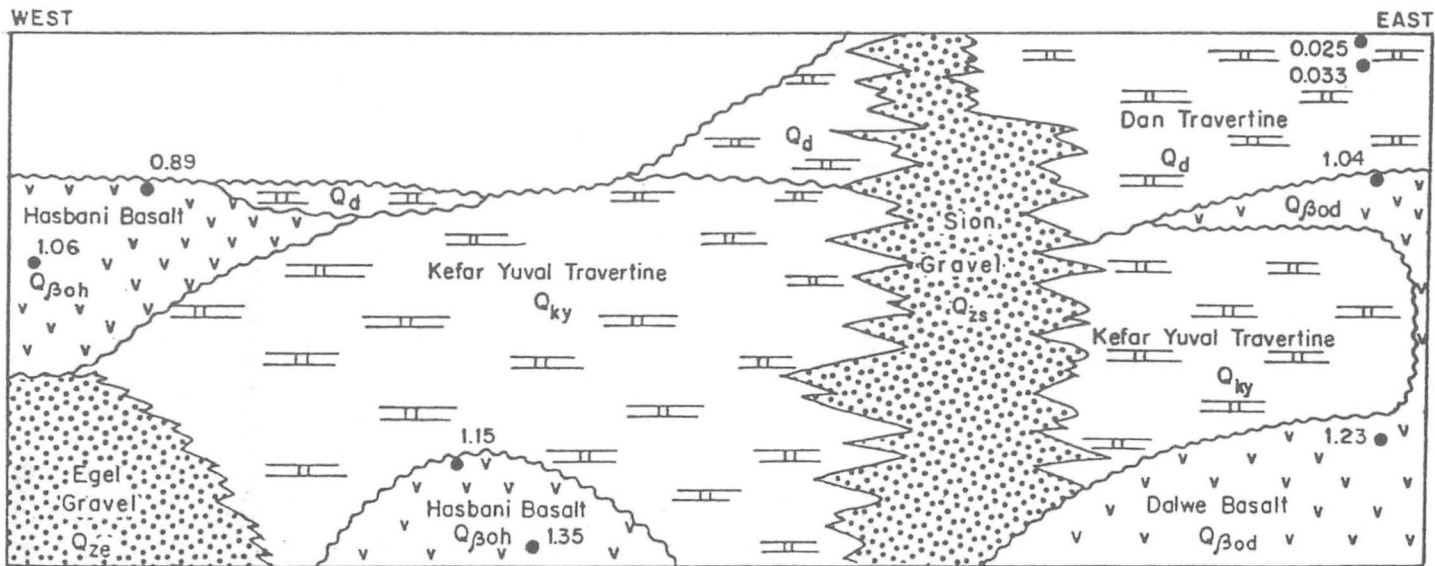
טופה הוא משקע מעיינות ונחלים הנוצר ממים בטמפרטורת הסביבה, ומכיל בדרך כלל מאובני צמחים, חסרי חוליות ובקטריות (ראה תחנה מספר 6). הסלע בדרך כלל נקבובי, ומורכב ברובו מקלציט דל מגנזיום. שקיעת קלציט בתנאי על רוויה היא איטית בדרך כלל בשדה וגם בתנאי מעבדה, בגלל מחסומים קינטיים. המחסום האנרגטי הדורש יצירת גלעין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

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

מקורות המים וסלעי הטופה: תצפית

הטופה בצפון עמק החולה חשופה היום משיפולי הגולן במזרח, לאורך מסלול נחל חרמון, ועד למורדות הרי נפתלי במערב. באזור זה מצויים המעינות הגדולים של מקורות הירדן הניזונים מאקוויפר החרמון, ומתחלקים לשלוש קבוצות כלליות (אזור 1): מעיינות נחל שניר (חצבאני





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



2. מעיינות הבניאס

מעיינות הבניאס נובעים למרגלות החרמון, בפינה הצפון מזרחית של רמת הבניאס, בגובה של 400 מטר מעפה"י (איור 1). הנביעה היא במגע בין קרבונטים של תצורת חרמון (4) למשקעים רביעוניים בלתי חדירים. מי המעיינות נדגמו בתקופה 3/96-5/2000 (42 דגימות).

איפיון הידרולוגי וכימי של מי הבניאס

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

קיים גם שנוי עונתי בהרכב האיזוטופי של חמצן ופחמן במים. המגמה הכללית היא של העשרה באיזוטופים הכבדים בעונת הקיץ והסתיו, וקלים באביב. מגמה זו איננה מתקיימת תמיד: בשנה השחונה של 1998 לא היה שנוי משמעותי בהרכב האיזוטופי של חמצן, ואילו ההרכב האיזוטופי של פחמן היה גבוה יותר באביב ולא נמוך יותר כמו בשנים קודמות.

נמצאה קורלציה גבוהה בין ריכוזי סולפאט, מגנזיום וסטרונציום ($\text{Correl}=0.99$, איור 4), ובין ריכוזי היסודות האחרים לסולפאט ($\text{Correl}=0.55-0.98$), הנובעת מכך שהרכב מי הבניאס נשלט על ידי ערבוב בין שני מרכיבי קצה עיקריים, השונים בהרכבם הכימי והאיזוטופי (טבלה 1):

טבלה 1: הרכב כימי ואיזוטופי מייצג של שני מרכיבי הקצה של מי מעיין הבניאס (meq/L)

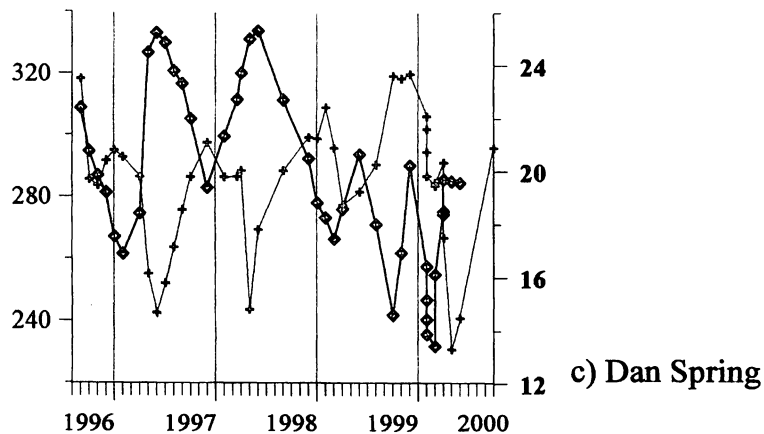
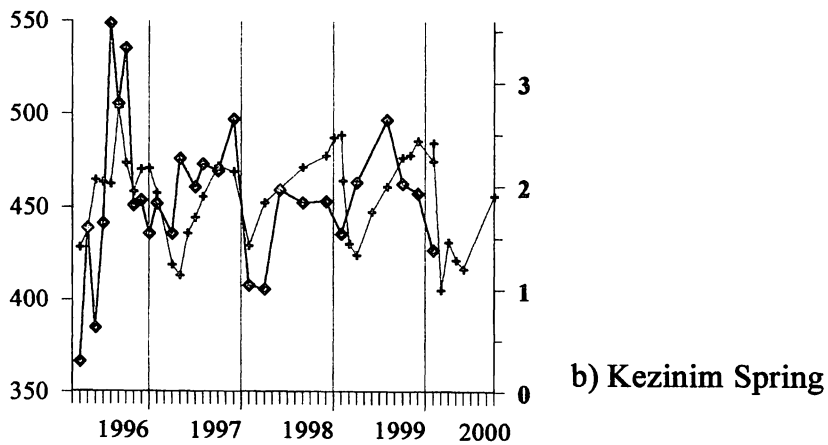
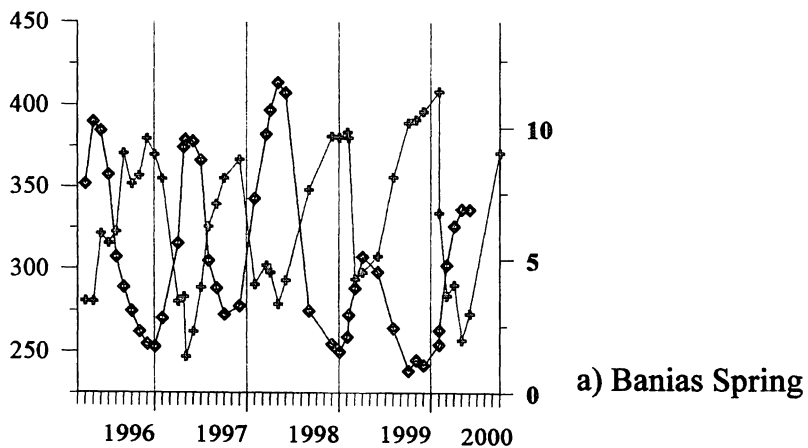
$^{13}\text{C}\%$	$^{18}\text{O}\%$	HCO_3^-	Cl^-	Sr^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
PDB	SMOW			*1000				
-12	-7.82	2.7	0.2	0.5	0.2	0.2	0.4	2.6
-9	-7.47	3.3	0.3	1.9	0.4	1.4	1.0	3.7

מנגנון הנביעה

מנגנון הנביעה קובע את היחס בין שני מרכיבי הקצה, וכתוצאה מכך את ההרכב הכימי של מי מעין הבניאס. הזרימה הקארסטית מאפיינת את נביעת האביב ומסתירה לחלוטין בעונה זו את הנביעה הקטנה שמקורה בזרימה דיפוזיבית. אך קצב השפיעה הגבוה מכלה במהירות את המאגר הקארסטי, שאינו גדול (19 מלמ"ק לפי גלעד ושוורץ; 1978), והוא דועך כמעט לאפס בחודשי הסתיו. אז ניכרת שפיעה של 2 מלמ"ק בחודש, המבוססת כולה על המקור הדיפוזיבי, המלוח.



**Fig 3: TDS (mg/L) and Mean monthly flow (10⁶ m³)
in three springs, 1996 - 2000**



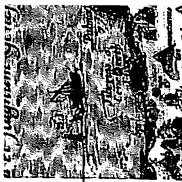
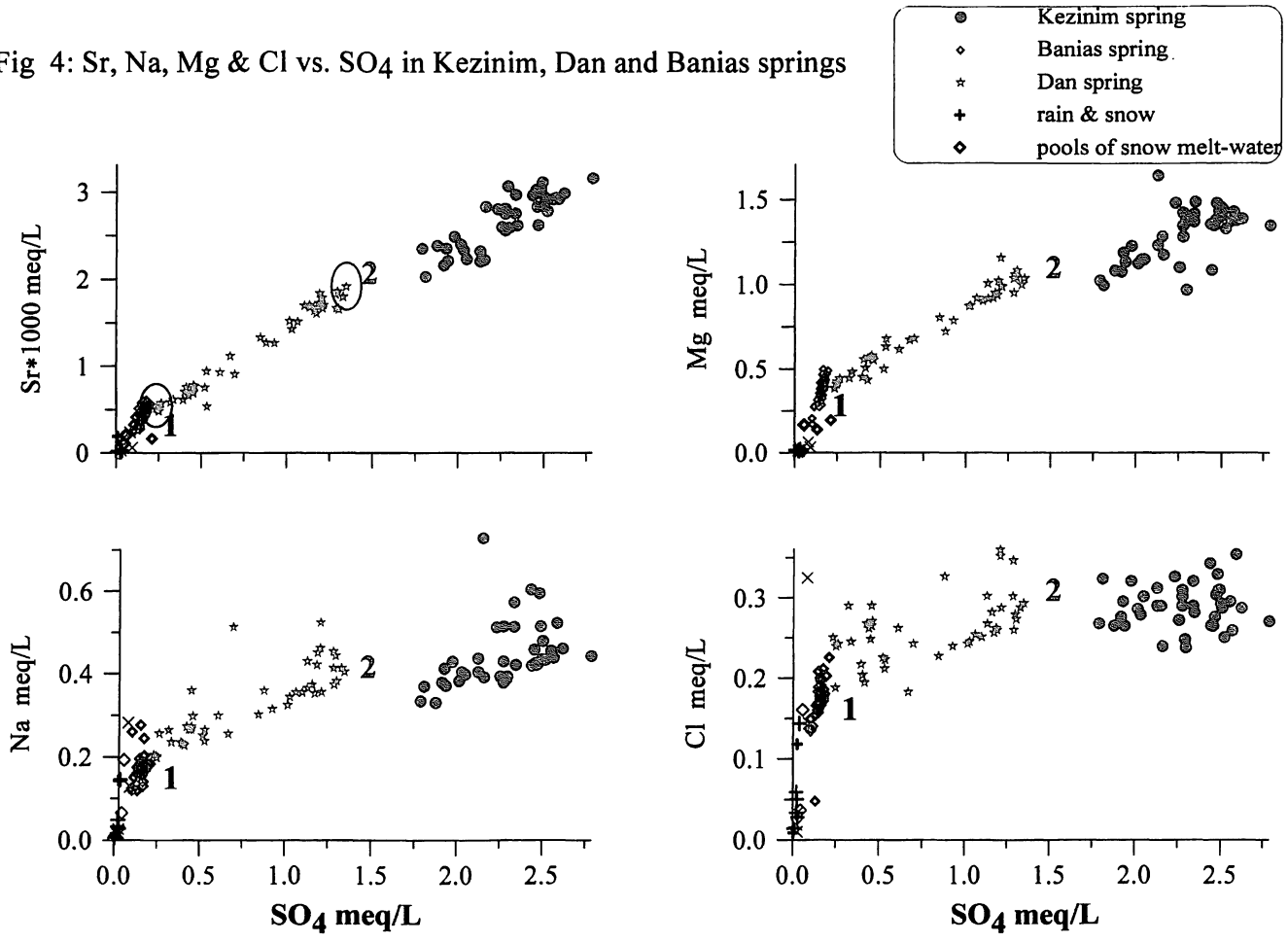


Fig 4: Sr, Na, Mg & Cl vs. SO₄ in Kezinim, Dan and Banias springs



כמות השפיעה הזו דומה לכמות השפיעה הנצפית במעיין הקצינים, אלא שהיא בעלת מליחות נמוכה יותר.

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



תמונה 1: מעיינות הבניאס, 7/11/1996



תמונה 2: מעיינות הבניאס, 1.5 מטר מעל תמונה 1, 15/4/1997



שקיעת טופה

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

3. מעיין בריכת הקצינים

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

שפיעת מעיין קצינים

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

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

$$Q_{(H)} * C_{(H)} = Q_{(B)} * C_{(B)} + Q_{(K)} * C_{(K)}$$

ומכאן ניתן לחלץ את שפיעת מעיין קצינים:

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

ריכוזי המלחים המסיסים במעיין בניאס (C_B), נחל חרמון (C_H) ומעיין קצינים (C_K) נמדדו במסגרת העבודה. שפיעת מעיין בניאס (Q_B) מבוססת על מדידות של השרות ההידרולוגי. תרומת מים ממקורות נוספים לנחל חרמון נמדדה ונמצאה בדרך כלל זניחה, להוציא את התרומה המתרחשת



לאחר שטפון בנחל סער (זמן קצר בסוף החורף), ואז יש להוסיף את נפח המים שהוא תורם לנחל.

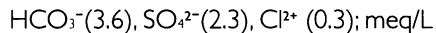
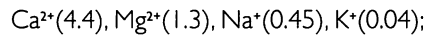
השיטה נבדקה באופן בלתי תלוי תוך שימוש בריכוזי מגנזיום, סולפאט או סטרונציום שריכוזיהם במי מעיין קצינים גבוהים תמיד ובצורה משמעותית מהריכוזים במעיין בניאס. תוצאות חישוב השפיעה לפי כל אחד משלושת היסודות נמצאו דומות, עם מעל ל- 90% התאמה. טווח ההשתנות של שפיעת מעיין הקצינים הוא 0.9-3.0 מלמ"ק בחודש, ובממוצע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

איפיון כימי ואיזוטופי של מי מעיין הקצינים

המים מעשרים יחסית למי הגשמים ולמי הבניאס במגנזיום, סולפאט, וסטרונציום (איור 4) והרכבם מתאפיין ביחסים האקווילנטים הבאים: $Ca^{2+} > HCO_3^- > SO_4^{2-} > Mg^{2+} > Na^+ > Cl^- > K^+$. סדר זה קבוע ואינו משתנה, גם אם ריכוזי היונים משתנים עונתית. ההרכב האיזוטופי הממוצע (משוקלל לזמן) של מי הקצינים הוא:



ההרכב הממוצע (משוקלל לזמן) של מי המעיין הוא:



המקורות התורמים מלחים למעיין הם מקורות אטמוספריים - גשם ואבק - ובעיקר סלעי דולומיט (Do) גבס (Gy) וגיר (Cc) ביחסים הבאים:

א. $2.48 * Do (CaMg(CO_3)_2); 2.27 * Gy (CaSO_4); 0.88 * Cc (CaCO_3);$
הנתרן והאשלגן מאוזנים על ידי יוני ביקרבונט; או ביחסים הבאים:

ב. $2.48 * Do (CaMg(CO_3)_2); 2.09 * Gy (CaSO_4); 1.06 * Cc (CaCO_3);$
במקרה זה יוני הנתרן והאשלגן מאוזנים על ידי שארית הסולפאט (0.18 meq/L). כיוון שהקורלציה בין שני יונים אלה לסולפאט טובה יותר מהקורלציה לביקרבונט, נבחר באפשרות השניה.

4. תצפית על קניון הבניאס מהגדה המזרחית, מול קיבוץ שניר

מאפיינים של חתך הטופה לאורך נחל חרמון

שיפולי הגולן, בגדה המזרחית של קניון נחל חרמון, הם גבול השתרעות סלעי הטופה. על הגדה המזרחית ניתן למצוא מחשופים משאריים של טופה שהשתמרה עם התחתרות הנחל או ששקעה כטרסת נחל תוך כדי התחתרותו. בצד המערבי יש חתך של בלדת שגילו 1-1.4 מ"ש ובראש החתך טופה. הטופה כוללת יחידה מסיבית (טופה בשכוב משני), אוואליטים, גיר מאובנים ומצוק. המצוק שמורכב מגיר צפוף וכבד עם מלוי של חללים ומאובנים, הוא קשה ומסיבי, ומרכיב עד חצי מהעובי



הכולל של חתך הטופה. הגיר המרכיב את המצוק הוא כנראה תוצר דיאגנזה או נאריזציה של טופה. מצוק נארי דומה ניתן למצוא גם בגג החתך בנחל קורן (האזור המרכזי, בערוץ הזרימה הקדום של נחל דן) וכן באזור נחל בית האחו (האזור המערבי), שם המצוק קרוב לגג. לעתים נוצרות מערות וחללים מתחת למצוק. תוך התחברות והתרחבות של גדות הנחל נופלות וגולשות חתיכות מהמצוק, לעתים בעלות גודל ניכר, ועשויות להראות כמחשוף טופה in situ. גיל של פלאו-ספלאוטם תוריום-אורנים שגדל בחלל מתחת למצוק, הוא בין 80 ל-110 אלף שנה. גיל זה עומד בסתירה לגיל שהתקבל בשיטת פחמן-14, של 25,000 שנה, ודווח על ידי היימן (1994).

5. תצפית אל רמת הבניאס מכון מערב

גיל השבירה

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

6. מפל הבניאס

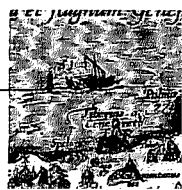
ליתולוגיה וכימיה של הטופה בחתך באזור המזרחי ועדויות על קצב השקיעה

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

חתך זה שימש נקודת מוצא בתארך הטופה. נעשה ניסיון לתארך אותו בשתי שיטות, פחמן-14 ותוריום-230 - אורניום-234. גילי תוריום-אורניום מצביעים על השקעה בתקופה הבין-קרחונית האחרונה, לפני כ-130-80 אלף שנה. גילי פחמן-14 צעירים יותר וחלקם בגבול המדידה.

נחל חרמון ושניים בהרכב הכימי של מימיו

נחל חרמון נדגם לאורכו בכ-7 תחנות קבועות בשנים 2000-1996, כדי לעקוב אחרי שינויים בהרכב המים במהלך הזרימה (תוספת של יובלים, ערבול, עומק המים, שקיעה או המסה של קרבונט).





תמונה 3: שכבת הטופה ה"גבעולית", חתך הטופה במפל הבניאס

ההנחה היתה שמפל מים גדול הגורם לערבול, אידוי ודיפוזיה של גזים עשוי להשפיע על ריכוזי היסודות השונים ועל יציבות מערכת הקרבונט לכוון של על רוויה לקציט. נמצא שהשינוי היחיד שנצפה אחרי מפל הבניאס והמפל הנסתר הוא עליה קלה בריכוזים הנובעת מהתאדות (איור 5). באזור זה, ממפל הבניאס ועד כניסת מי הדן (בערך לפני שאר ישוב), מתרחשת שקיעה רצנטית של טופה. לא הובחנו שינויים כימיים משמעותיים כתוצאה משקיעת הטופה, כנראה משום שכמויות הסידן והביקרבונט המסולקות בתהליך זה הן זניחות.

7. נחל חרמון, מהמפל עד בריכת בית ספר שדה חרמון

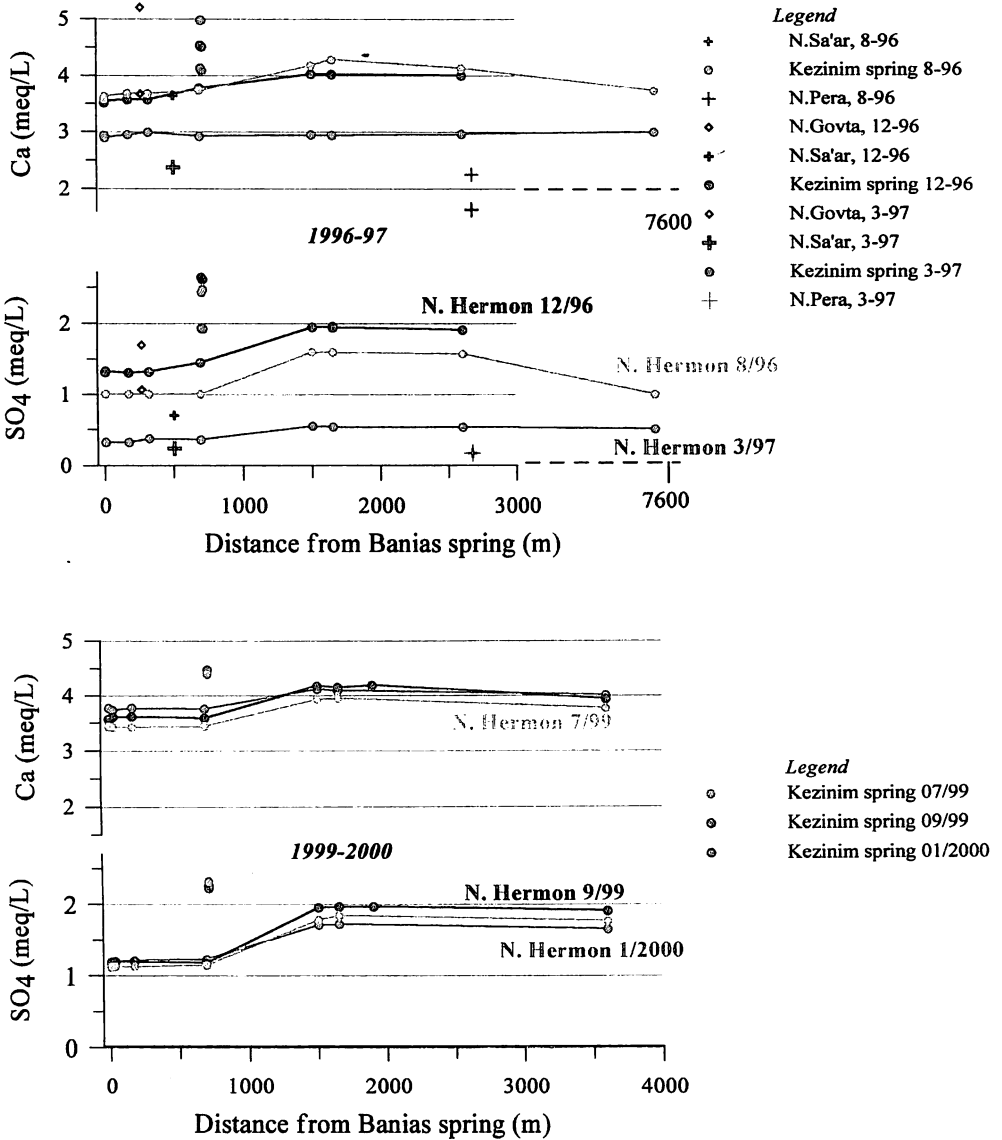
סביבות ההשקעה ומנגנון היצירה של טופה במי הנחל

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

מנחל פרע ועד מושב שאר ישוב נפוצה מאד שקיעה רצנטית של טופה בנחל חרמון. סלעי טופה הם סטרומטוליטים יבשתיים, ושקיעתם נשלטת על ידי הזמינות של מצע ביוגני (Emeis et al., 1987). משטחים של אצות ובקטריות, מלוכדים על ידי הפרשות ביולוגיות דביקות (mucus),



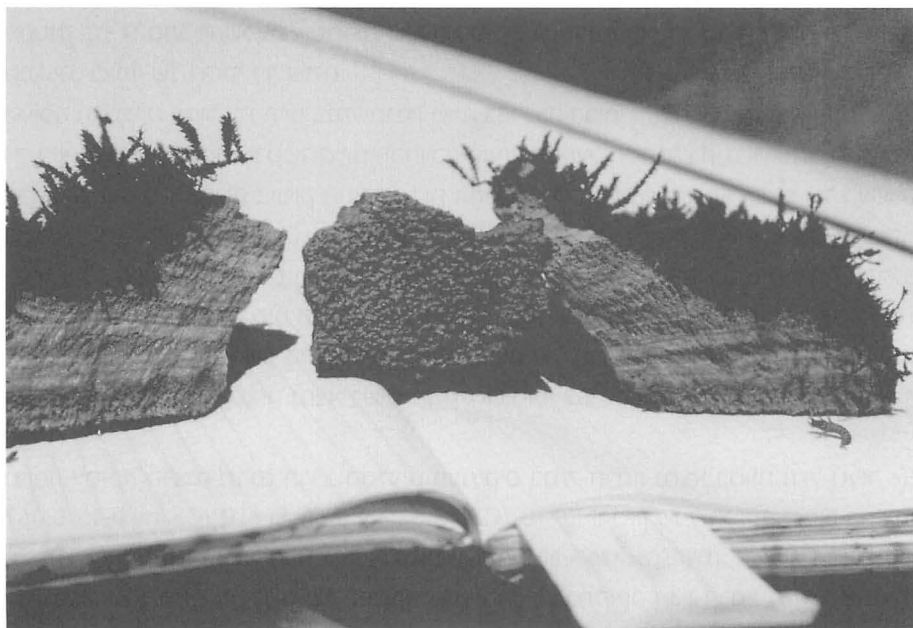
Fig 5: Calcium and Sulfate concentrations along N.Hermon



שיכולים להימצא על כל משטח בנחל ללא תלות בכמות האור או באנרגיית המים, מדביקים אליהם בשלב ראשון גבישי קלציט זעירים שנמצאים בתרחיף במי הנחל. גבישים אלה הם גרעיני גיבוש לשכבת הקלציט הראשונה שנוצרת על גבי המצע הביולוגי. הגורם השולט בשקיעתם של משקעי נחל מסוג זה איננו גורם כימי או פיסיקלי בלבד (ריכוז היונים במים, רמת הרוויה לקלציט, אנרגיית המים, אור וכו') אלא הזמינות של סביבה ביולוגית מתאימה. משטחי האצות נפוצים על תשתית סלעית - חלוקים, בולדרים, קרקעית או גדת הנחל, או צמחית - גבעולי טחב ואזוב, שורשים, גבעולים ועלים שנתלשו. תשתית חיה כמו טחב מראה לעתים קרובות חילופי שכבות עונתיות של שכבה פורוזית בעונת הבלבול (קיץ) ושכבה צפופה בעונת התרדמת של הצמח (חורף; תמונה 4).

טרסות סופה על תשתית של שורשים, היוצרות שכבות בעובי של עד עשרות סנטימטרים נפוצות במיוחד באזור זה של נחל חרמון (תמונה 5). שורשי עצים פולטים CO₂ ונראים לכן כסביבה שאיננה מתאימה לשקיעת קלציט: אך השורשים כאן, שהם חיים, מצופים שכבת אצות עבה שמבודדת את פני השורש מהמים והיא סביבה נוחה ליצירת טופה.

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



תמונה 4: חילופי שכבות עונתיות בטופה רצנטית, נחל דן





תמונה 5: יצירת טרסה של טופה על תשתית של שורשים, נחל חרמון

הרכב כימי ואיזוטופי של טופה רצנטית

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

הטופה הרצנטית ששוקעת היום בנחל חרמון שונה בהרכבה הכימי והאיזוטופי מזו ששוקעת בנחל דן. היא עשירה במגנזיום ובסטרונציום, וההרכב האיזוטופי של הפחמן בה גבוה יותר מהטופה הרצנטית באזורים אחרים בעמק החולה. טווח ההרכבים הרחב בנחל חרמון מעיד על העשרה במגנזיום ובקלציום $Mg^*10^2/Ca_{eq} = 0.4 - 0.7$; $Sr^*10^5/Ca_{eq} = 0.45-0.11$ (איור 6) משקף כנראה את השינויים שנצפים בהרכב המים של מעיין בניאס, הנע בין הרכב מים דומה להרכב המים של הדרן באביב, לבין מים הדומים למעיין קצינים בסתיו. עיקר השקיעה נצפתה בנחל בעונת סוף הקיץ והסתיו: יתכן שזו הסיבה לריכוזים הגבוהים של מגנזיום וסטרונציום בסלעי הטופה. ההרכב האיזוטופי של הטופה נמצא בשיווי משקל איזוטופי עם המים (גור וחברים, 1998/99, איור 7).

בדומה לטופה הרצנטית, גם הרכב הסלעים העתיקים בנחל חרמון נמצא בטווח גדול (איור 6): $Mg^*10^2/Ca_{eq} = 0.26 - 0.66$; $Sr^*10^5/Ca_{eq} = 0.45-0.067$. כיוון שגיל הטופה באזור המזרחי (נחל חרמון) והמרכזי (נחל דן) דומה, ונמצא בטווח של 80 - 130 אלף שנה, נראה שהמאפיינים הכימיים וההשתנות הסקולרית של הנביעות בשני האזורים בתקופה הבין-קרחונית האחרונה היו דומים למצב הנוכחי.

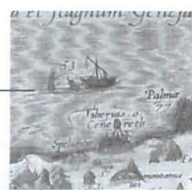
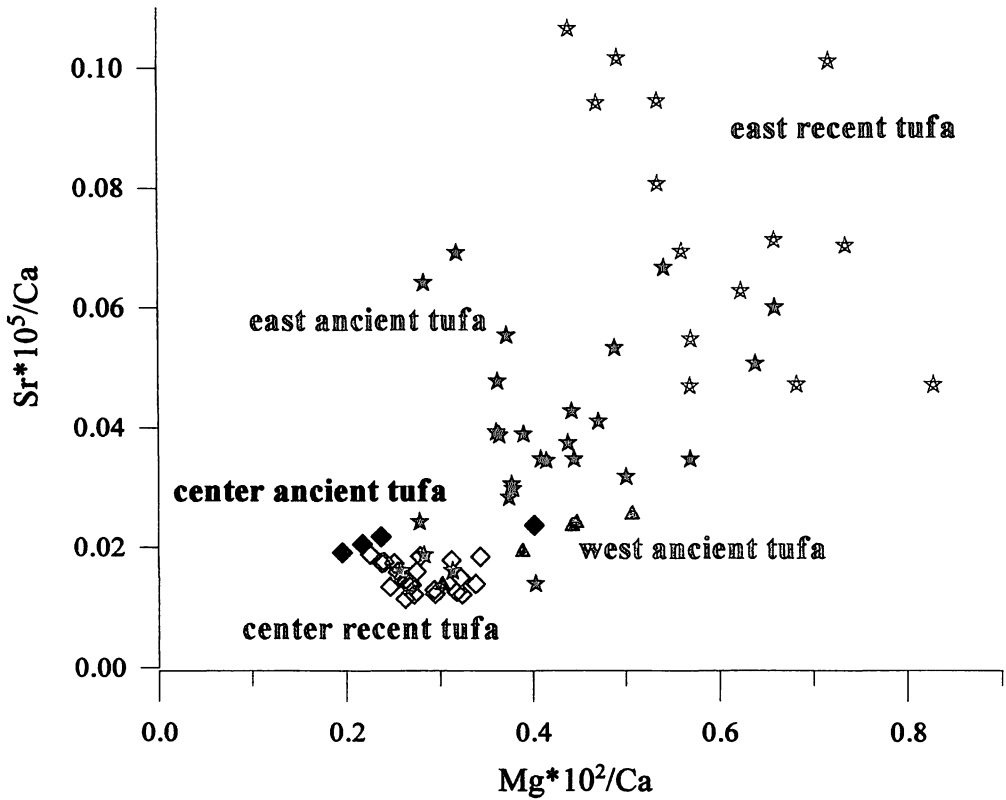


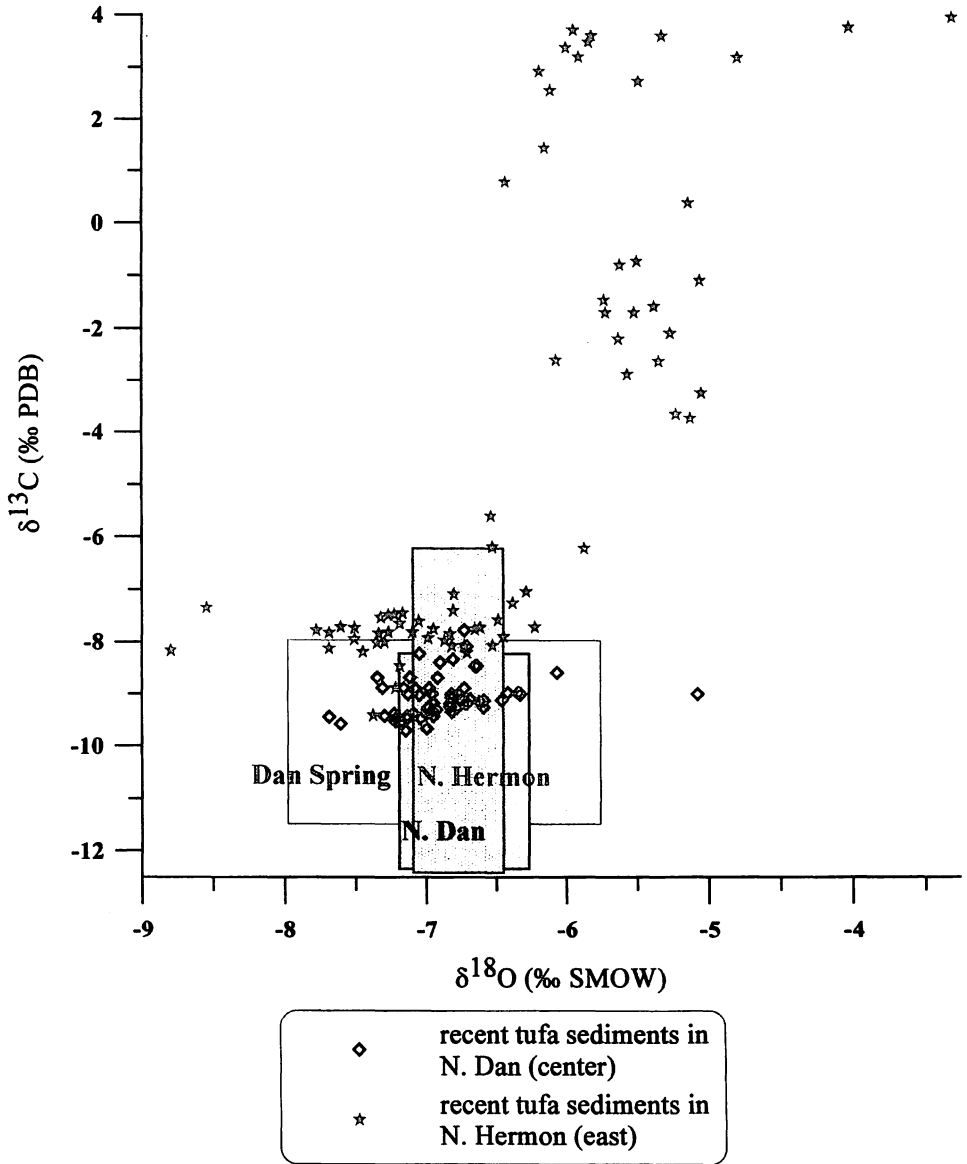
Fig 6: Chemical composition of recent and old tufa



- ◆ ancient tufa rocks from N. Koren (center)
- ◇ recent tufa sediments from N. Dan (center)
- ★ ancient tufa rocks from Baniyas Plateau (east)
- ★ recent tufa sediments from N. Hermon (east)
- △ ancient tufa rocks from N. Beit Ha'achu (west)



Fig 7: Isotopic composition of recent tufa



8. מעיינות תל דן

מעיינות דן נובעים בתל דן, בגובה 210 מטר מעפה"י, על תל המתרומם 15 מטר מעל סביבתו (איור 1). מתחת לתל יש כנראה שבר, המציב את תצורת מגדל שמש (J5) המכוסה בזלת מול חולות קרטיקון תחתון (גלעד ושוורץ, 1978). החול נובע עם המים במעיינות, והרכבו אופייני לחול של קרטיקון תחתון. במעיין הגבוה יותר, בעיין לשם, נובעת כמות גדולה יחסית של חול זה. מעיינות דן ולשם נדגמו במסגרת העבודה בתקופה 5/1996-9/2000 (מעיין דן 42 פעמים, ועיין לשם 35 פעמים).

איפיון כימי ואיזוטופי של מעיינות דן

מי המעיינות דן ולשם דומים מאד בהרכבם, ולכן אפשר להתייחס אליהם כקבוצה אחת בעלת מאפיינים כימיים ברוחים. מי מעיינות הדן הם מים קרים ($14-17^{\circ}\text{C}$), בעלי $\text{TDS}=260-325 \text{ mg/L}$ (איור 3c). הם מועשרים ביחס למי הפשרת השלגים פי שניים עד פי ארבע בסידן, ביקרבונט, מגנזיום וסטרונוציום, ואינם מעושרים בנתרן ובכלור (איור 4). הרכבם האקוויולנטי האופייני $\text{Na}^{+}\sim\text{Cl}^{-}; \text{Ca}^{+2}\sim\text{HCO}_3^{-}>>\text{Mg}^{+2}; \text{HCO}_3^{-}>>\text{SO}_4^{-2}>>\text{Cl}^{-}$ (משוקלל לזמן ולא לכמות) הוא: $\delta^{18}\text{O}=-7.63\pm 0.23\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}=-10.03\pm 1.17\text{‰}$.

9. נחל דן

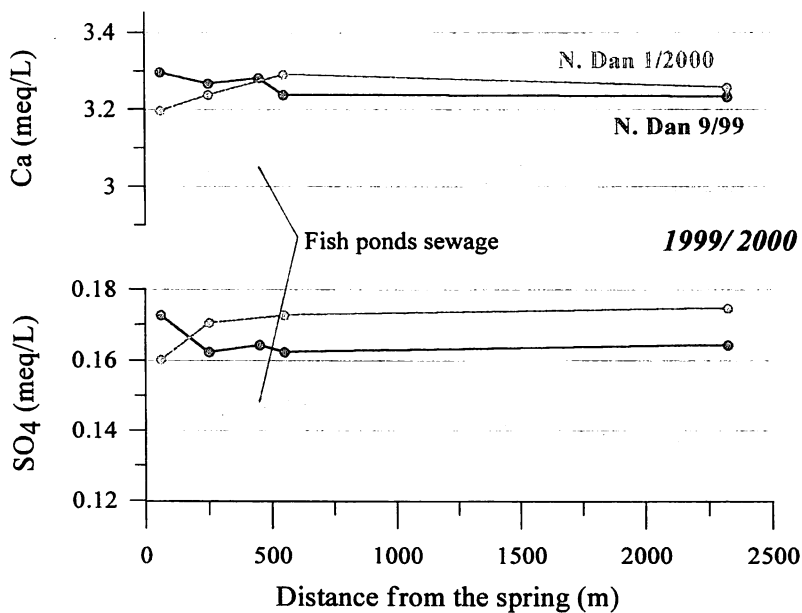
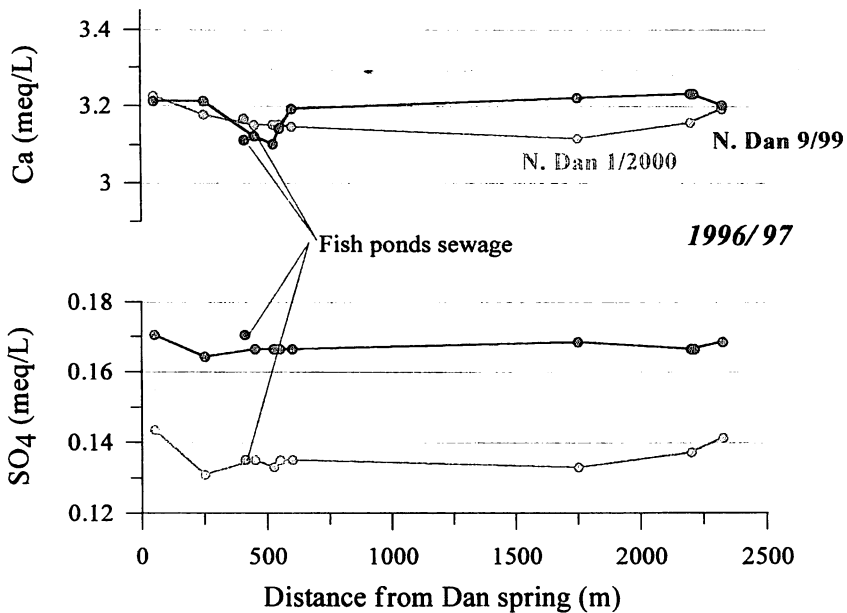
נחל דן זורם בערוץ הגבוה מסביבתו, על תשתית סופה שהושקעה על ידי אותם מים בתקופות קדומות. עובדה זו נוצלה היטב על ידי חקלאים בתקופות קדומות, ומי הנחל, שהערוץ הטבעי שלהם היה כנראה בנחל קורן, פוצלו לתעלות רבות שהשקו את האזור שבין נחל חרמון לנחל שניר (יוסי לב ארי, שיחות בבית אוסישקין). במהלך העבודה נדגמו 5-7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

שינויים בהרכב הכימי של מי נחל דן

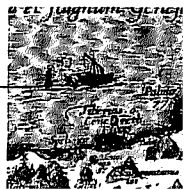
ההרכב הכימי של מי הנחל כמעט ואיננו משתנה לאורך הזרימה (איור 8). מי הנחל מתפצלים ונלקחים למאגרים ותעלות שונות אך אין תוספות של מים מיובלים או מקורות אחרים. התוספת היחידה של מים נמצאת מיד בתחילת מסלול הזרימה של הנחל: מי השפכים של בריכות הדגים, הנשאבים ממעיינות הדן, משמשים את בריכות הדגים ולאחר מכן עוברים רמה מסוימת של שיקוע וסיהור ומוחזרים אל הנחל. השפעתם על הרכב המים משתנה לפי רמת הטיפול שעברו כך שלפעמים נמצאה עליה מסוימת במליחות, שמקורה במזון דגים וחומר אורגני, ולעתים יש ירידה בריכוזים (כתוצאה מפעולות טיהור). ריכוז החומר האורגני תמיד עולה (נראה בעיין ומורגש באף!) וכן גם ריכוז הזרחן (Gur et al., 1997). במאות המטרים שאחרי הוספת השפכים יש בנחל עדויות



Fig 8: Calcium and Sulfate concentrations along N.Dan



איור 8



גם להשקעה וגם להמסה של טופה. יתכן שעליה בכמות החומר האורגני בשנים האחרונות, גרמה להורדת חומציות המים ולהמסה של סלעי טופה בנחל. המסה כזו יכולה לגרום גם להמסה תת-קרקעית של טופה ולהגברת ה"דליפה" של מי דן לכוון נחל חרמון.

שקיעת רצנטית של טופה בנחל דן

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

הרכב הכימי של הטופה הרצנטית בנחל דן נמצא בטווח מצומצם של הרכבים בהשוואה לנחל חרמון: $Mg^*10^2/Ca_{eq} = 0.23 - 0.33$; $Sr^*10^5/Ca_{eq} = 0.011 - 0.019$. הרכב סלעי הטופה העתיקים ששקעו באזור זה, במחשוף שבנחל קורן מעל לקיבוץ הגושרים, דומה להרכב הסלעים הרצנטים:

$$(Mg^*10^2/Ca_{eq} = 0.19 - 0.40; Sr^*10^5/Ca_{eq} = 0.019 - 0.024 \text{ (איור 6)}).$$

10. נחל בית האחו, בין מעיין ברוך לכפר יובל

סטרטיגרפיה וליתולוגיה, הרכב כימי ואיזוטופי של הסלעים

הטופה באזור זה מונחת על בזלת שגילה כ- 250 אלף שנה, והיא חולקה ל 4 יחידות: 1. שכבה רכה, בסיסה איננו חשוף כיוון שקו המגע עם הבזלת מכוסה טאלוס. 2. מצוק טופה אפור, בולט בכל השטח. בנוי גיר צפוף וכבד, דק גביש, עם מאובני צמחים וחללים גדולים שאינם חופפים את המאובנים. עוביו 1.7-1.8 מטר. הגיל שנקבע בשיטת תוריום-230-אורניום-234 הוא 214 ± 56 אלף שנה.

3. טופה פריכה, נראית כהשקעה משנית. מכילה אואוליטים, גבעולים, סטרומטוליטים, טחבים ועוד, במטריקס אדום. אין מלוי חללים או נאריציה. עביה 2.8 מטר.

4. גיר אגמי משוכב וקשה, בשכבות דקות של 2-5 סנטימטר. היחידה מוגבלת בתפוצתה ועוביה 1.5-0.5 מטר. הגיל שנקבע בשיטת תוריום-230 - אורניום-234 הוא 189 ± 49 אלף שנה.

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

הרכבם הכימי והאיזוטופי של הסלעים באזור המערבי דומה יותר להרכב באזור המרכזי, ושונה מאד מהרכב הסלעים באזור המזרחי. היחסים האקווילנטיים

$$Mg^*10^2/Ca_{eq} = 0.35 - 0.45; Sr^*10^5/Ca_{eq} = 1.8 - 2.5$$



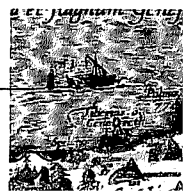
אך מיעוט האנליזות של סלעים ושל מים באזור זה מקשה על הסקת מסקנות (איור 6). ההרכב האיזוטופי של פחמן גבוה מההרכב באזור המרכזי, ונמוך מההרכב באזור המזרחי (איור 7).

גיל הטופה

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

1.1 סיכום

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



12. ספרות

- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 1997. מי הנחלים בניאס ודן - סביבת השקעה של טופה (טרורטין). כנס החברה הגיאולוגית, כפר גלעדי, 1997 (תקציר).
- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 1998. שקיעת סלעי טופה באזור הנחלים חרמון ודן: מנגנון ומשמעות פלאואקלימית. המכון הגיאולוגי TR-GSI/11/98.
- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 2001. טופה רצנטית, סלעי טופה עתיקים ומי המעיינות בצפון עמק החולה: הרכב כימי ואיזוטופי. כנס החברה הגיאולוגית, אילת, 2001 (תקציר).
- גלעד ד. ושוורץ ש., 1978. הידרוגיאולוגיה של אקוויפר מקורות הידן. השירות ההידרולוגי, הידרולוגיה 78:15.
- היימן, א., 1985. הגיאולוגיה של רמת בניאס וצפון עמק החולה תוך הדגש למשקעי טרוורטין. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 155 עמ'.
- היימן א. 1994. תופעות טקטוניות ומשקעי טרוורטין בבקע ים המלח בצפון ישראל. כנס החברה הגיאולוגית, גינוסר, 1994 (סיור).

- Chafetz H.S. and Folk R.L. 1984. Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *J. Sed. Pet.* 54: 289-316.
- Emeis K.C., Richnow H.H. and Kempe S. 1987. Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. *Sedimentology* 34: 595-609.
- Gur D., Bar-Matthews M., and Sass E., 1997. Geochemistry of springs and rivers, and its relationship to present-day tufa formation in the north Hula Valley, Israel.
- Pedley H.M. 1994. Prokaryote-Microphyte biofilms and tufas: A sedimentological perspective. *Kaupia*, 4: 45-60.







SUMMARY

Sequence stratigraphy is a tool for predicting significant facies both vertically in a section or a drilling well; or areally over a region or locally in an oil field. Dividing the section into recognizable formations or faunal zones may be irrelevant, but formation names are still useful. It is usually not valid to classify sequences at only one location. We have seen how the sequences and the component parts (systems tracts) can be graded and ranked depending on our objectives.

REFERENCES

- Goldberg, M., 1969, The Jurassic of Majdal Shams area, Mt. Hermon, Geol. Survey of Israel, unpublished section.
- Goldberg, M., 1969, The Jurassic of Majdal Shams area, Mt. Hermon. Isr. Geol. Soc., Annual Meeting, Abs. p. 25.
- Goldberg, M., Hirsch, F., and Mimran, Y., 1981, The Jurassic sequence of Mount Hermon. Isr. Geol. Soc., Annual Meeting Proc. p. 14-19.
- Hirsch, F., 1996, Geology of the southeastern slopes of Mount Hermon. Geol. Survey of Israel: Current Research, 10:22-27.
- May, P. R., 2000, Sequence stratigraphy in a shelf basin: Middle Jurassic of central Israel. Geol. Surv. Israel, Current Research v. 12, p. 125-131.
- May, P. R., 2001 Sequence stratigraphy of the Upper Jurassic in the Negev and Coastal Plain: Geol. Surv. Israel, Seminar 18/3/2001 (unpublished).
- Mor, D. 1987, Har Odem Geological Map, 1:50,000. Geol. Surv. Israel.
- Razvalyaev, A. V., 1966, The geological Map of Syria 1:200,000, in V. P. Ponikarov (ed.), Syrian Arab Republic, Min. Industry, Dept. Geol. Mineral Res.
- Shimron, A. and Peltz, S., 1993, Early Cretaceous pyroclastic volcanism



STOP 7: North entrance to Ein Qinia

Outcrops along the road near Ein Qinia show the massive oolitic limestone in the highstand tract of Sequence R succeeded by fine grained thin bedded limestone. The top of the highstand and the contact with Haluza shale are obscured by a basic intrusion.

The exposed section can be considered as the highstand tract of Sequence R, but the rank could be downgraded to regard it as a transgressive tract of the overlying Haluza formation.

The Haluza formation (not well exposed here) is an incomplete sequence exposure due to pre-Lower Cretaceous erosion. The basal 25 meters is transgressive (TST) with a condensed zone (MFS) at its top. The remaining part of the highstand (HST) is about 10 meters of oolitic limestone below the Lower Cretaceous basaltic volcanics.

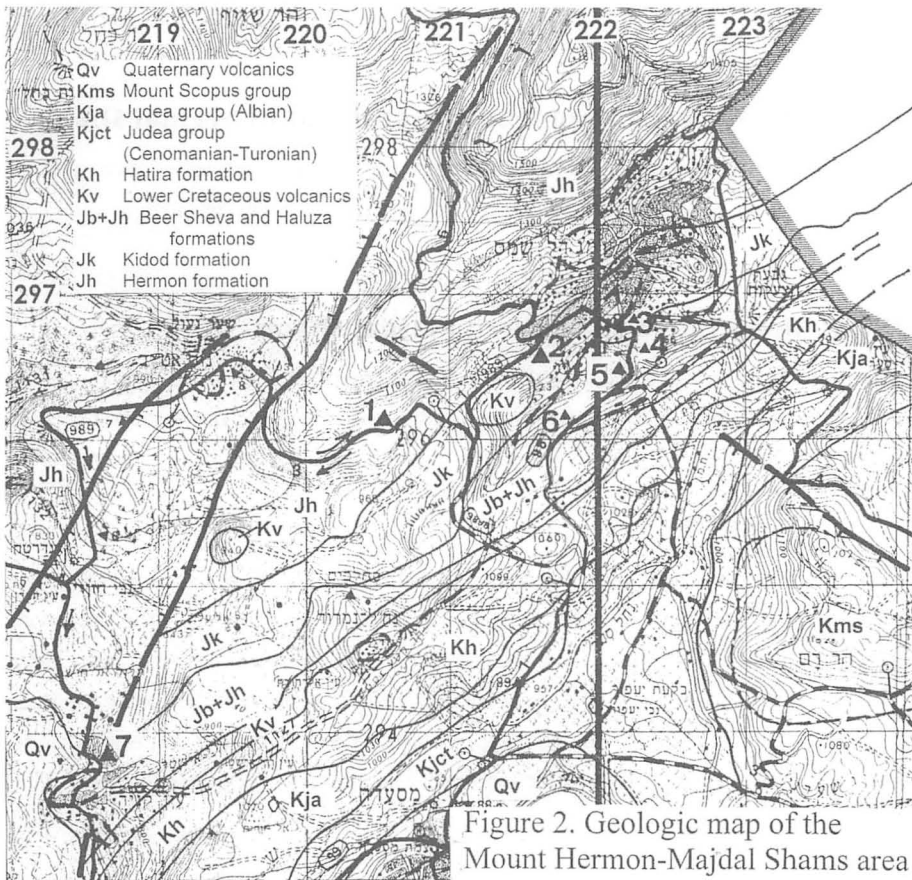


Figure 2. Geologic map of the Mount Hermon-Majdal Shams area

STOP 4: East side of street

The basal 25-30 meters of the Kidod shale is dark, pyritic, and organic-rich, equivalent to a high gamma-ray zone in Beer Sheva I. This is the transgressive tract (TST) and the condensed zone (MFS) of Sequence K. The basal 40 meters of the Kidod shale has a high concentration of nannofossils (Moshkovitz and Ehrlich, 1981), characteristic of a condensed zone. The ammonite fauna indicates Early Oxfordian age.

The upper 125 meters of the Kidod shale has a generally regressive stacking pattern, grading into thin-bedded limestone and shale. The clay minerals are kaolinite and montmorillonite. The top of the Kidod shale is marked by a bed of oolitic limestone (Goldberg 1969). This is possibly the top of the Sequence K highstand tract (HST), but it is not clear. The top of the limestone bed is the sequence boundary, overlain by a thin transgressive tract (TST) and the condensed zone (MFS) of Sequence M. The K sequence could be regarded as a parasequence (lower rank) of the overlying M sequence.

STOP 5: West side of road leading south out of Majdal Shams

The 35 meters of thin-bedded spiculitic limestone is a gradually regressive section in the basal part of Sequence M, (Beer Sheva limestone in standard stratigraphy).

STOP 6: Along the road south of Majdal Shams.

The upper 45 meters of the M sequence is not well exposed along the road. Irregular outcrops of Beer Sheva limestone show a regressive stacking pattern culminating in coralline reefy limestone (HST). The top of the coralline limestone is the sequence boundary.

The coral limestone is overlain by the transgressive tract (TST) of Sequence R, composed of argillaceous algal limestone. It is succeeded by shale, which is probably the maximum flooding zone (MFS). The shale is correlatable with a high gamma-ray zone in Beer Sheva I. The top of the R highstand (HST) is oolitic, non-reefy limestone at the top of the Beer Sheva limestone formation. The age is Upper Oxfordian to Lower Kimmeridgian. The upper Beer Sheva limestone is better exposed 4 kilometers to the SW near Ein Qinia village.



SEQUENCE STRATIGRAPHY OF THE MIDDLE AND UPPER JURASSIC ON MOUNT HERMON

CORRELATION WITH BEER SHEVA - 1 WELL (NEGEV)

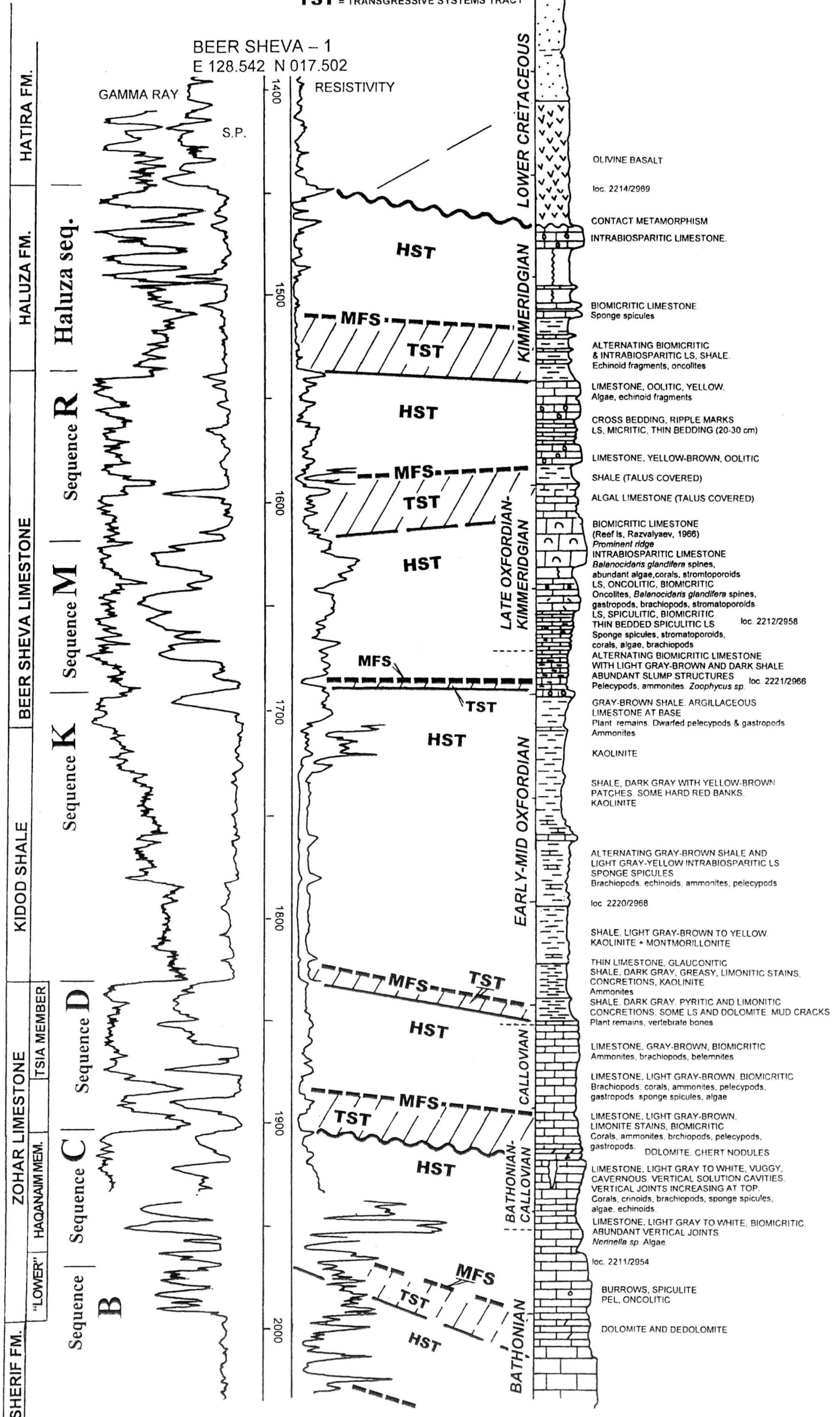
Sequence stratigraphy by Paul R. May
 Age data by Lydia Grossowicz
 MAJDAL SHAMS SECTION:
 Lithologic description and paleontology by M. Goldberg, 1969
 Section measured and sampled by M. Goldberg, M. Brown, M. Raab, B. Derin, 1967-1969

HST = HIGHSTAND SYSTEMS TRACT
MFS = MAXIMUM FLOODING SURFACE
TST = TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT

LS. CRYSTALLINE.

CHALKY LS.

SS. FERRUGINOUS COARSE TO FINE, SOME SHALE ANGULAR GRAINS



STOP 1: Quarry between Neve Ativ and Majdal Shams

The overlying limestone grades into evenly bedded deeper-water micrite and wackestone containing fauna of Callovian age. This is probably the equivalent of the Halamish and Tsia members of the Zohar formation and can be regarded as a single sequence (Sequence D). A condensed zone marking the maximum flooding surface is not apparent, nor is there a clear highstand facies of massive or coarse-grained carbonate. The section here is a downslope equivalent of a shelf facies to the south. The Halamish-Tsia members can also be regarded as a parasequence (lower rank) in a transgressive systems tract with the MFS in the lower part of the Kidod shale.

In the central Golan 25-30 kilometers south of this location, seismic sections show limestone buildups probably equivalent to the highstand of this sequence.

STOP 2: Near Majdal Shams marble works

The contact between Zohar (Hermon) limestone and the Kidod shale, clearly exposed a few years ago, is now hidden by buildings, but we can observe lower Kidod in a nearby pit. The limestone is gradational into the overlying Kidod shale (Majdal Shams formation, Hirsch, 1996) and the lithologies are interbedded over a few meters.

The shale exposed in the pit is black to dark gray, pyritic, grading upward to a lighter limy shale with thin limestone interbeds.

STOP 3: Below Gasoline Station, near tire shop

This location is less than one kilometer from Stop 2, but instead of a gradational interbedded contact, the Kidod shale is unconformable on the Zohar (Hermon) limestone. This makes the top of the Zohar limestone a sequence boundary (top of Sequence D), and the basal Kidod shale is the transgressive systems tract (TST) of Sequence K. The Upper Callovian ammonite faunal zone is missing and the age of the overlying Kidod is early Oxfordian.



Sequence Stratigraphy of The Middle and Upper Jurassic on Mount Hermon

Paul R. May

The Jurassic exposed on Mt. Hermon was the subject of excursions in annual meetings in 1981 and 1989. The trips focused on a general view of the Jurassic section (Goldberg, 1969; Goldberg, Hirsch, and Mimran, 1981).

This trip concentrates on the section from the Zohar formation equivalent to the top of exposed Jurassic beds. The emphasis is on seeing the beds and the facies in terms of the concepts of Sequence Stratigraphy, a view which often differs from classic stratigraphy. This location is on the south flank of a Mesozoic basin centered in Lebanon, and on the northern margin of the regional Jurassic platform.

Five sequences can be distinguished in this section and we will try to relate the bedding patterns to standard systems tracts. The detailed surface section (fig. 1) is described by M. Goldberg (1969). The surface section is correlated to the Beer Sheva-1 well in the Negev, which gives a view of the sequences in electric and gamma-ray wireline logs. The designated sequences are those defined by May (2000, 2001).

Many of the significant outcrops observed in earlier surveys are now covered by recent building in the town of Majdal Shams.

About 60 meters below the top of the main carbonates (Hermon formation, Hirsch, 1996) is a possible unconformity marked by solution effects: vuggy limestone and vertical solution cavities. High energy limestone below the unconformity contains coral fragments, brachiopods, large ammonites, and echinoids. The unconformity is probably the equivalent of the top boundary of the C sequence (May, 2000).



**Israel Geological Society acknowledges the support
of the Ministry of National Infrastructures
and the Geological Survey of Israel.**

Geological Society Committee 2000-2001

Amotz Agnon - President

Rivka Amit - Vice President

Revital Ken-Tor - Executive Director

Orit Sivan - Treasurer

Yoram Katz - Secretary

Alex Beck - Executive Member

Dov Ginzburg - Manager of the Scientific Fund
in honor of Dr. Peretz Grader

Printed by the Ministry of National Infrastructures

The Executive Committee wishes to thank Laor Map Collection in the National Library
for the permission to print the antique map on the cover.

Graphic design: Stephanie & Ruti Design

Cover:
Portions of the Holy Land by Adrichom Christian van, Köln, 1590.
Top oriented to the east.



23-25.4.02



2002 m a a g a n

Israel Geological Society

field trips

Edited by: Revital Ken-Tor





2002

TRIBVS ZABVLON
 ISACHAR, ET, DIMIDIA
 MANASSE
 altera, hoc est, illa Terra Sancta
 regionés, quas iste tribus in distribuendo possidendas acceperunt.

Israel Geological Society

2002

TRIBVS

magann