



כנס החברה הגיאולוגית בעין בוקק 1988

מדריך לסירים גיאולוגיים

אזור ים המלח והערבה הצפונית

GEOLOGICAL SOCIETY OF ISRAEL

ANNUAL MEETING 1988

GEOLOGICAL FIELD TRIPS, DEAD SEA AND

NORTHERN ARAVA AREAS

ISSN 0334 - 0694

ערכו: משה אייל, אהובה אלמוגי-לבין, יעקב ארקין, יוסף ברטוב

הדפיסו: ויקי אריה, מאשה כחלני, קמי עלפי, רויטל סוריט.

הפקה: קרן אור, ירושלים טל: 02-539939

תמונה השער: תצורת הלשון מגיל פלייסטוקן עליון בנחל פרצים.

הלמינות הכהות הן בעיקרן משקעים קלסטיים-פלוביאטיליים שהובאו ע"י שטפונות ומורכבות מחרסית (קאוליניט, איליט, מונטמורילוניט ומעט פליגורסקיט) בליכוד קרבונטי בגודל גרגר דומה. הלמינות הלבנות הן משקעים אבפוריטיים המורכבים ארגוניט וגבס, או במקומות דיאטומאות.

הקימוט האופיני לשכבות תצורת הלשון נובע מן התכונות המכניות של חבילות שונות של למינות.

צילום: יעקב ארקין



כנס החברה הגיאולוגית בעין בוקק 1988

מדריך לסיורים גיאולוגיים  
אזור ים המלח והערבה הצפונית

ירושלים פברואר 1988, אדר התשמ"ח

## תוכן הענינים

### עמוד

|     |   |                |
|-----|---|----------------|
| 1   | ספלאוגנזה של מערת מלח"ם, הר סדום. – עמוס פרומקין                    | : סיוור מס' 1  |
|     | הגיאולוגיה של אזורי הפוספטים בערבה הצפונית ונחל צין.                | : סיוור מס' 2  |
| 9   | יאיר שילוני, יאיר לוי, דוד שטרית                                    |                |
| 29  | תצורת הלשון בדרום ים המלח. – ז.ב. בגין, י. דרוקמן, י. דן            | : סיוור מס' 3  |
| 47  | הר גבים ומזרח שבר הרמון. – עמיר אידלמן, יוסף ברטוב                  | : סיוור מס' 4  |
|     | טקטוניקה וסטרטיגרפיה (ניאוגן-קוורטר) של הערבה הצפונית: אזור חצבה. – | : סיוור מס' 5  |
| 68  | יוסף יחיאלי, עמיחי סנה, אלכס לבנת                                   |                |
|     | פוזת טקטוניות וסדימנטריות בשוליים הצפון-מערביים של אגן ים המלח –    | : סיוור מס' 6  |
| 83  | מיכאל גרדוש, אורי מור   |                |
|     | סטרטיגרפיה וקרסט בתואי המסוע ממישור רותם לים המלח. –                | : סיוור מס' 7  |
| 111 | יעקב ארקין, פרנסיס הירש   |                |
| 133 | ים המלח ומפעלי ים המלח. – מ. בייט, י. לוי, א. גבריאלי               | : סיוור מס' 8  |
| 148 | התופעות הוולקניות בערבה. – דב לויטה, איתן שש, עמיר אידלמן           | : סיוור מס' 9  |
| 158 | הליתוסטרטיגרפיה והמבנה של מחדר מלח סדום. – י. זק                    | : סיוור מס' 10 |
| 185 | רשימה ביבליוגרפית בעברית  |                |
| 189 | רשימה ביבליוגרפית באנגלית   |                |



סיור מס' 1: ספלאוגנזה של מערת מלח"ם, הר סדום

עמוס פרומקין

המרכז לחקר מערות, החברה להגנת הטבע

### מטרות הסיור

1. הכרת המורפולוגיה של מערה אופיינית בהר סדום והתופעות הספלאוגנטיות המיוחדות למערות מלח.
  2. הכרות עם התפתחות המערות כפונקציה של פרמטרים שונים, דוגמת המבנה הגיאולוגי, אופי הזרימה והגרדיינט ההידראולי, התרוממות הדיאפיר של הר סדום, משטר הגשמים ושינויים במפלס בסיס הניקוז - ימת הלשון וים המלח.
- המערה היא שמורת טבע. אסור בהחלט להשתמש בפטישים. התאורה - בפנסים בלבד.

### מערות מלח-רקע כללי

מערות קרסטיות רבות נחקרו בעולם, רובן בסלעים קרבונטיים. תאוריות רבות ושונות זו מזו הוצעו לגבי היווצרות המערות (החל ב-1893, CVIJIC). ההבדלים הקיצוניים הקיימים בין התאוריות השונות נובעים בין השאר בגלל נתוני הסביבה השונים בכל אתר שנחקר: תנאים גיאולוגיים ואקלימיים מגוונים, ואף הבדלים בתחום היווצרות המערות - מעל או מתחת למפלס מי התהום.

מצב המחקר שונה במערות קרסטיות בהליט ( $NaCl$ ), להלן: סלע מלח, מערות מלח). מערות מסוג זה כמעט ולא נלמדו כלל. ספר יסוד מודרני שנושאו קרסט וספלאולוגיה קובע:

"NATHURAL SALT CAVES FROM INSIDE SALT DOMES ARE NOT KNOWN, EITHER BECAUSE UNDERGROUND CAVITIES ARE NOT FORMED AT ALL, OR BECAUSE THEY ARE QUICKLY DESTROYED AGAIN AFTER THEIR FORMATION"

מחקר העוסק בהמסת סלעי מלח בקרום כדור הארץ מתייחס לנושא מערות המלח כך:

"BECAUSE OF THE SOLUBILITY OF SALT, ONE WOULD EXPECT CAVES TO BE ABUNDANT, ESPECIALLY WHERE SALT BODY LIES ABOVE THE WATER TABLE AND THEREFORE COMES INTO CONTACT WITH UNDER-SATURATED MIGRATING WATERS. HOWEVER, THE SAME EXTREME SOLUBILITY ALSO IS RESPONSIBLE FOR THE FACT THAT IN MOST AREAS THE SALT HAS BEEN DISSOLVED TO SUCH DEPTHS THAT SALT CAVERNS ARE NOT VISITED BY MAN IN THE SAME WAY AS ARE LIMESTONE CAVERNS" (LANDES, 1961).

חוקרים אלה ואחרים לא ידעו על קיומן של מערות מלח מאחר והן נדירות ביותר בעולם המערבי. עיקר הנתונים מחוץ להר סדום מקורם בעבודתם של חובבי מערות ממועדונים (CAVING CLUBS) שיצאו לגלות מערות באזורים נידחים: מצאנו נתונים על שתי מערות מלח בברית המועצות (GIURGIU, 1985), 27 מערות ברומניה (GIURGIU, 1980), מערה אחת בספרד (1986, UBACH-TARRES AND GUTTIEREEZ), 5 מערות באלג'יריה (INDURAIN ET AL., 1984) ומערה אחת באי לאראק שבמפרץ הפרסי (WINKLEHNER, 1892, IN SHAW, 1979).

מערות המלח בהר סדום נדונו בעבר בקיצור (SHALEM, 1958; זק, 1967; גרסון, 1972; פרומקין 1982; DONINI ET AL., 1985). כיום נמצא בעיצומו מחקר המערות שמבצע מלח"ם בהר סדום.

תהליך המסת המלח שונה מתהליך המסת הגיר (וסלעים קרבונטיים אחרים). בגיר מדובר במערכת שיווי משקל של יונים רבים בתמיסה המימית, כשההמסה מבוקרת בעיקר על ידי ריכוז ה- $CO_2$  במים (PICKNETT ET AL., 1976).

בסלע מלח לעומת זאת תהליך ההמסה הינו בדיסוציאציה פשוטה יחסית (GARRELS AND CHRIST, 1965). הגורם הכימי העיקרי שבו יש להתחשב במערות מלח הינו ריכוז המלחים במים (ואולי גם המסת האנהידריט המופיע בסלע החיפוי שמעל המלח). לפיכך קל לבודד במערות מלח את הגורמים הפיסיקליים המשפיעים על המורפולוגיה של המערה, דוגמת המבנה הגיאולוגי, משטר הזרימה והגרדיינט ההידראולי.

מסיסות ההליט במים, בתנאים השוררים בהר סדום, מגיעה ל-360 גרם לליטר (BOGLI, 1980), וקצב ההמסה הינו מהיר. לפיכך ניתן לעקוב בהר הסדום אחרי שינויים מורפולוגיים המתרחשים במערת מלח במשך שנים ספורות. במערות גיר, לעומת זאת, קשה למדוד באופן ישיר את השינויים המורפולוגיים, מאחר והם נמשכים זמן רב יותר.

עשרות מערות מלח בהר סדום הן מטיפוס "THROUGH CAVE", כלומר מערה שאדם יכול לנוע לכל אורכה מן הבולען שדרכו חודרים המים למערה ועד לנקודת המוצא של המים אל פני השטח. במערות גיר מטיפוס דומה בעולם ניתן לנוע בדרך כלל במורד המערה מן הבולען ועד לנקודה בלתי עבירה או לחילופין מנקודת מוצא המים ועד לנקודה בלתי עבירה במעלה הזרימה. בספרות הספאלולוגית לא מצאנו עדות על אתר כלשהו בעל ריכוז כה גדול של "THROUGH CAVES" כמו זה של הר סדום.

#### הר סדום - רקע כללי (לפי זק, 1967: גרסון 1972)

הר סדום נמצא בבקע ים המלח, סמוך לקצהו הדרום-מערבי של האגן הדרומי (היבש) של ים המלח. ממדיו - 11X1.5 ק"מ, והוא מתנשא כ-240 מ' מעל פני ים המלח (160 מ' מתחת פני הים התיכון). האקלים חם וצחיח: כ-25°C טמפרטורה שנתית ממוצעת, ו-50 מ"מ גשם בממוצע רב שנתי.

נפח ההר בנוי דיאפיר של סלעי מלח של תצורת סדום המלווים בסלעים נוספים, שעיקרם אנהידריט, קירטון, פצלים וחלוקים. מסלעי מלח, המלח

חשוף על פני השטח רק ב-4.6% משטח ההר, בעיקר בפתחי פירים ודולינות ובמתלולים שנוצרו בגלל העתקי החלקה או גידודים המלח. על פני השטח מופיעים בדרך כלל סלעים מסיסים פחות: 44% משטח ההר מכוסה בסלע חיפוי - שהם שארית בלתי מסיסה של סלעי מלח מתצורת סדום, שהומסו עם התרוממות הר סדום וחדירתו לגוף מי תהום. 28% מהשטח מכוסים בסלעי תצורת הלשון. על פני שאר השטח חשופות שכבות סלע בלתי מסיסות מתצורת סדום (פרט הכרבולות ופרט בנות לוט), תצורת עמודה וסדימנטים הולוקניים.

שכבות סלע המלח בהר סדום נטויות בדרך כלל בתלילות, אנכיות או מהופכות. כיוון הסטרייק השכיח הוא צפון-דרום, כיוון המכתיב לעיתים קרובות את התבליט, בשל שכבות בלתי מסיסות הנותרות בולטות ויוצרות רכסים, ושכבות המלח היוצרות עמקים. התבליט בהר סדום מבותר מאד, להוציא רצועות שטוחות אחדות, בעיקר בגב ההר. ניתן להגדיר את הנוף הקרסטי בהר סדום כקרסט אלוגני (JAKUOS, 1977; ALLOGENIC-KARST), בו מי המשקעים זורמים באגני ניקוז עיליים על פני סלע בלתי מסיס (יחסית) עד שהם נשבים לזרימה תת קרקעית בתוך סלע המלח. הר סדום נחשף לתהליכי ארוזיה במשך לא יותר מ-11,000 שנה (BEGIN ET AL., 1985) בתקופה קצרה זו נוצר בו הנוף העילי והתת קרקעי הנראה כיום.

#### תחנות הסיוור

##### תחנה 1: מוצא המערה, מפלס זרימה נוכחי

הנקודה בה הופך הנחל התת קרקעי הזורם במערה להיות נחל עילי. 5 ערוצים תת קרקעיים שונים התחברו בנקודות שונות במערה ומתנקזים לכאן. הזרימה היא שטפונית ומתרחשת במוצע אחת לשנה, בשעת גשם מקומי המתרחש בדרך כלל בגלל שקע ים סוף.



המערה חוצה כאן את מישור ההעתק המזרחי של דיאפיר סדום, פעילותו העכשווית של ההעתק גורמת להתמוטטויות באיזור הפתח.

#### תחנה 2: מוצא המערה, המפלס העליון

מפלס הזרימה הקדום של המערה יצר כאן מחילה שרוחבה כ-30 מ' וגובהה כ-10 מ'. המחילה גבוהה ב-25 מ' ממפלס הזרימה הנוכחי. המפלס הגבוה הינו תוצאה של רום בסיס הניקוז (=ים המלח) בשעת היווצרותה, והתרוממות קטע זה של הדיאפיר מאז נוצרה המחילה. במחילה מבחינים במשקע ספלאוקלסטי שמקורו בזרימה השטפונית הקדומה של המערה, ובמשקע אופוריטי שמקורו בים המלח.

#### תחנה 3: מבט אל מלוא גובה המחילה

בנקודה זו ניתן לראות ממפלס הזרימה הנוכחי, לאורכו אנו מתקדמים, את תקרת המחילה הקדומה בגובה של כ-17 מ' מעל לראשינו. ברוב חלקי המערה נסתמו המפלסים במפולות, או שהמפלסים השונים נפרדים זה מזה. תואי המחילה נע במשך התפתחות המערה מרחק של עד כ-50 מטרים שמאלה וימינה מן התואי הראשוני, שהוכתב במקורו על ידי סדק או העתק החלקה.

#### תחנה 4: אולם הגיליוטינה (תמונה 1)

חלק מהמפולות, דוגמת ה"גיליוטינה", הינן תוצאת אי יציבות התקרה עקב החלל שנוצר מתחתיה. מים מתווספים למערה מנקודות שונות שעל פני השטח, וזאת בנוסף למי האפיק הראשי. מי זרימה וארוסית החודרים למערה דרך סדקים פתוחים הינם אגרסיביים והופכים את הסדקים לקמינים.

#### תחנה 5: אולם הסכינים

מי לחול ואדוסיים חודרים למערה בקצב איטי דרך סדקים סגורים. ומגיעים פנימה כשהם רוויים במלח, ומשקיעים ספלאוטמים של מלח. מנגנון ההשקעה הינו פשוט מבחינה כימית (בניגוד לספלאוטמים

קרבוניטיים), וכרוך בהתאדות המים בחלל במערה. ה"מדפים" הינם ספלאוגנים טיפוזיים למערות מלח. הם נוצרים במחילות שהגיעו לשיווי משקל מבחינת פרופיל האורך שלהן, בשל המסיסות הרבה של דפנות המחילה.

תחנה 6: שכבות בלתי מסיסות

שכבות המסיסות פחות מסלע המלח (בעיקר - אנהידריט) מהוות מחסום להתפתחות מערות בהר סדום. לאורכן מתפתחות לעיתים מחילות של מאות מטרים. במקרה שלפנינו נפרצה השכבה על ידי המחילה עוד במפלסה העליון.

תחנה 7: נביעת מי תהום

המחילה אינה מעמיקה בדרך כלל אל מתחת מפלס מי התהום, אך מגיעה אליו מדי פעם. בנקודה כזו נוצרת נביעת תמלחת החוזרת ונבלעת בקרקעית לאחר מטרים ספורים והיוצרת משקעי בריכות מלח. בנקודה זו מתחברות המחילה הדרומית והמחילה המרכזית של המערה.

תחנות 8, 9: העתקים פעילים (תמונה 2)

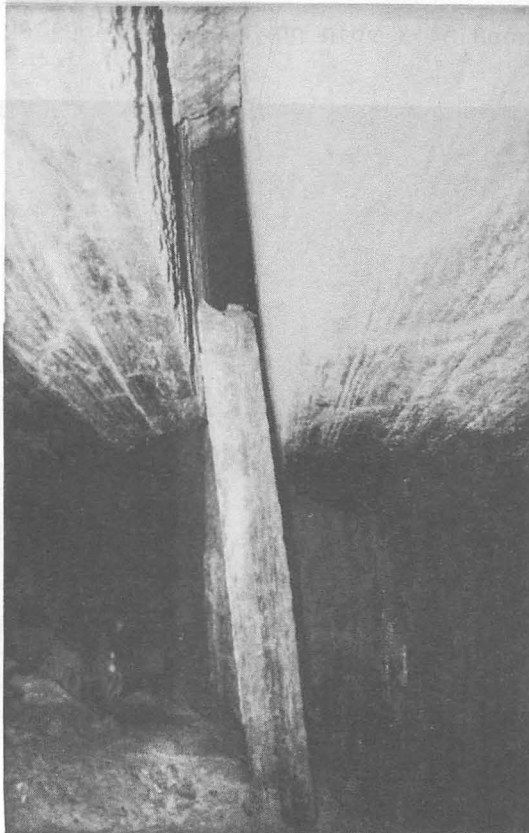
המחילה עוברת כאן לאורך מישור העתק החלקה פעיל. חתך הרחב של המחילה וצנירי הזרימה מופרע על ידי ההעתקים. המחילה המשכיה להתפתח בד בבד עם תזוזות ההעתקים, והתוצאה היא מורפולוגיה משולבת של המסה והעתקה.

תחנה 10: קוביות מלח

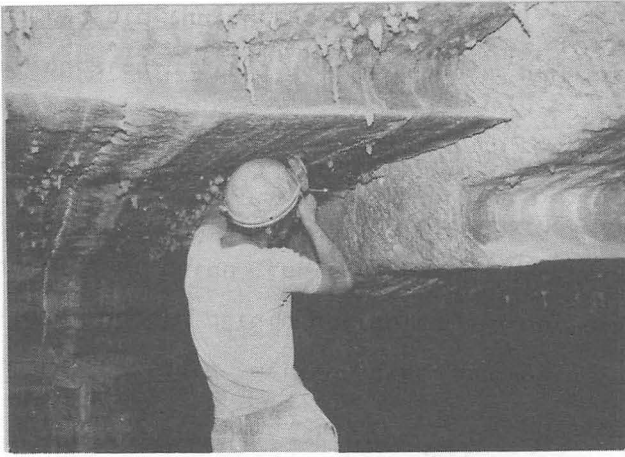
גבישים קוביים של מלח נוצרו בתוך סדקים שהיו מלאים במי תמלחת, בטרם התרומם חלק זה של הדיאפיר אל מעל בסיס הניקוז, ובטרם נוצרה המחילה.

תחנה 11: היכל הנטיפים (תמונה 3)  
ריכוז גדול של ספלאוטמים שונים של מלח: נטיפים, עמודים, הקטיטים.

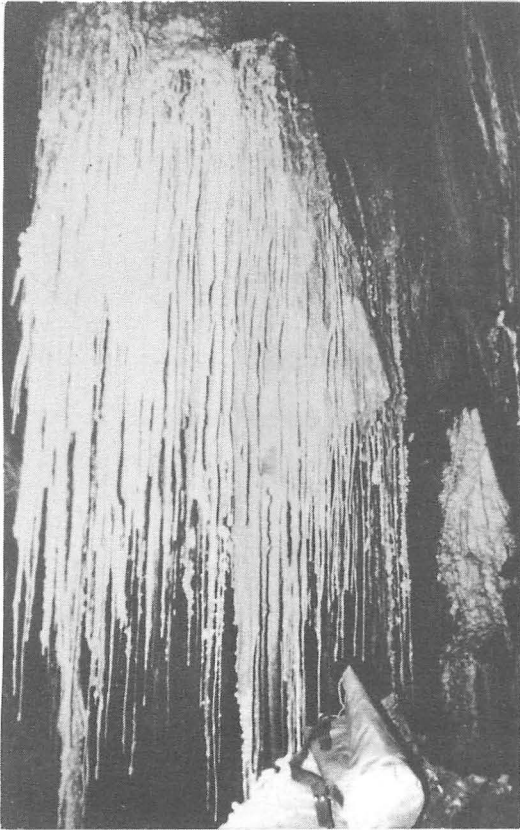
תחנה 12: הפיר הדרומי (תמונה 4)  
פיר בליעה שבו עובר הנחל הדרומי לערוצו התת קרקעי. פרופיל המחילה נעשה תלול בסמוך לפיר, בדומה לפרופיל האורך של ערוצים עיליים. בדופן הפיר - פתחי מחילות קדומות מעל מחילת הזרימה הנוכחית. הפיר נמצא בתוך דולינת התמוטטות שנוצרה בגלל התמוטטות תקרת המחילה הקדומה.



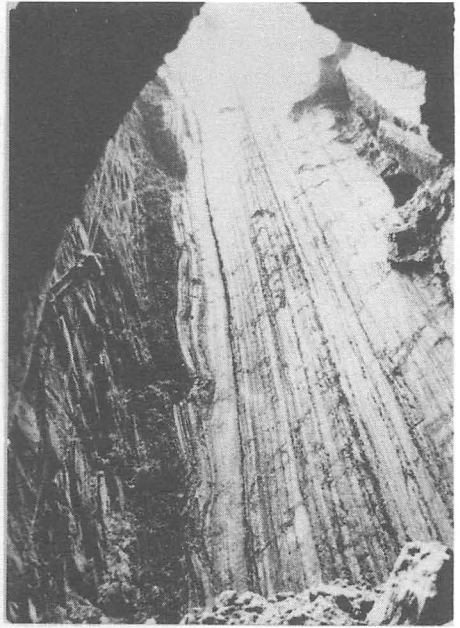
תמונה 1: "הגליוטינה" מערת מלחיים נחל מרכזי



תמונה 2: תחנה 8 העתק קוטע צניר המסה



תמונה 3: היכל הנטיפים



תמונה 4: מבט למעלה בפיר



סיוור מס' 2 - הגיאולוגיה של איזורי הפוספטים בערבה הצפונית ובנחל ציון.

יאיר שילוני - האגף למחצבים ומקורות אנרגיה, המכון הגיאולוגי, ירושלים  
יאיר לוי, דוד שטרית - היחידה לגיאולוגיה של "פוספטים בנגב", אורון.

### הקדמה

המאפיינים המשותפים לכל שדות הפוספטים בנגב רבים אך ניתן להראות גם מאפיינים ייחודיים ככל שדה ושדה. ההכרה המפורטת של השדות היא תהליך ממושך והיא חיונית לקבלת ההחלטות בקשר לניצול נכון של כל איזור ואיזור. ההשקעות ופירוט האינפורמציה הנדרשת גדלים ככל שעולה הסבירות לניצול התופעות ואז גם נמחקים חלק מסימני השאלה של שלבי המחקר הראשוניים.

בסיוור הנוכחי, שמסלולו מפורט בציור 1, מוצגת תמונה הבנויה מאיסוף נתונים גיאולוגיים מפני השטח ומקידוחים ובחלק מהמקרים אף מובהרת התמונה על ידי נתונים שנתקבלו בשלב הניצול של השדות.

### שדה עין עופרים

מן הרכב ניתן לראות בזמן הנסיעה מצומת כביש הערבה וכביש דימונה-סדום ועד כנ"צ. 1782/0397 כיצד קוטע השבר המערבי של הגרנן הנחשף במצוק ההעתקים את רציפות מחשופי תצורת מישאש לכיוון מזרח. מנקודת הציון הנ"ל לכיוון דרום אי אפשר יותר לאתר את השבר של הגרנן בפני השטח. סקרים גיאופיזיים הוכיחו קיומו בתת הקרקע מתחת לפני הכיסאן (May, 1968). בק"מ ה-14 מהצומת, רואים במרחק של כ-1.5 ק"מ מערבית לכביש, גבעה לבנה בולטת בה נחשפים סלעים מתצורת ע'רב וסביבה יתבצע סיוור רגלי של כ-2 ק"מ שיכלול 5 תחנות עצירה.

באיזור זה נחשפת בפני השטח שכבת פוספוריט בעלת נתונים הנחשבים לכלכליים (עובי 1-3 מ' וריכוזים הנעים סביב 30% ת.ז.). וזאת ההופעה הצפונית ביותר שהוכרה עד כה של פוספוריט זה בשולי הערבה.

הגיאולוגיה של האיזור (ציורים 2 ו-3) נלמדה החל משנות ה-50 בשורה של מחקרים ובהם: בן תור ופרומן (1957), שילוני ושחר (1969) ואכרון (1980). הנתונים על שדה הפוספטים נתקבלו מקידוחים שנעשו בשלושה שלבים ושסוכמו על ידי שילוני ושחר, (1969); שילוני ורודד, (1974); וסודרי ומור, (1985).

במחשופים ניתן לראות מספר צורות הופעה של שכבת הפוספוריט המצויה בגג ה"סדרה הפוספטית" של תצורת מישאש. מתת הקרקע נתקבלו נתונים גם לגבי צורות הופעה נוספות וגם לגבי כלל ה"סדרה הפוספטית" שעוביה הכולל מגיע ל-30 מ'. הסדרה בנויה משכבות פוספט בעלות עובי וטיב משתנה, שכבות דולומיט וגיר פוספטיים דקות, שכבות פוספט מצורר, צור ופורצלניט וכך מבולבוסים גיריים. מחשופים בעלי צורת הופעה השונה זה מזה בונים "חגורות" המשתרעות במקביל לסטרוקטורה הרגיונלית של המחמל. במעלה הסטרוקטורה, כלפי מערב, מופיעים פוספטים ברזליים אדמדמים-ירקרקים וכלפי מזרח הם עוברים לתוך של פוספט אפור, חום ופוספט ביטומיני. כמו בשדות פוספטים אחרים של הערבה אופייני לשדה זה מעבר מהיר, בטווחי מרחק קצרים, לעתים של עשרות מטרים, מצורת הופעה אחת לצורת הופעה אחרת (ציור 3).

תחנה 1 - תצפית מרכס הצור שבמרכז השדה ודיון במשמעותו (ג.צ. 1743/0334)

באמצע השדה מתרומם רכס של גבעות צור לגובה של 10-20 מ' מעל לפני השטח. לרכס זה כיוון מזרח-מערב שהוא כיוון שונה מזה של הסטרוקטורות הרגיונליות ומבנהו אינו דומה לכיפות האופייניות לחבל הכיפות. רכס זה מוסבר כבלוק מורם ושבור והנתונים מסקרי הפוספטים מאפשרים ברור מהותו.

מסתבר כי שבר/ים שניתן להוכיחם בשטח ושיש להם גם המשך בתת הקרקע (ציור 4) פעלו/ בתקופת הקמפן העליון, בעת שקיעת הפוספט, וכן בחלק מתקופת המסטר־כט. בעוד שמצפון לשברים קיימת בד"כ שכבה שעוביה 3 מ' ותכולתה 27-32% ת.ז., הרי שמדרום לקו השבירה אין בד"כ פוספוריט כזה, עובדה המצביעה על סדימנטציה שונה משני צירי השבר. מדרום לשבר/ים יש כנראה גדיעה של החלק העליון של תצורת מישאש וכנראה גם של חלק מתצורת ע'רב. בסמוך לרכס הנ"ל, מצפון לו, היתה שקיעה מהירה של התשתית שהביאה להצטברות חתך בעובי של עד 9 מ' של פוספוריט בתכולה של 27% ת.ז. ומעלה. בחתך עבה זה רבות האינטרקלציות הגיריות האופייניות להופעת ה"פוספוריט העיקרי" במכתש הקמץ ונחל צין.

פילוג ת.ז. בתחכים נבחרים של צפון שדה עין עופרים מוצג בציור 5.

תחנה 2 - פוספט "נורמלי" בגג תצורת מישאש ומעליו חתך תצורת ע'רב  
(נ.צ.מ. 1744/0338)

שכבה של 3 מ' של פוספט חום פריך המונחת על פוספט גירי מצורר ומתחת לשכבת גיר פוספטי קשה המהווה איזור מעבר לסלעים יותר חואריים בתצורת ע'רב שמעל. בתחנה זאת חשוף החתך בעל העובי המירבי במחשופים של תצורת ע'רב באיזור והוא מצטיין בעושר רב של תופעות לימוניט שמקורן כנראה בתרכיזים ברזליים.

תחנה 3 - חתך אופייני של פוספט ברזלי (נ.צ.מ. 1738/0342)

הפוספט הברזלי מעין עופרים נידון בעבר, נוסף על הדו"חות הנ"ל, גם ע"י Nathan and Shahar, (1977) ו-Lucas et al., (1980). החתך המאפיין טיפוס פוספט זה מורכב משכבה של 1-2 מ' של פוספט לימוניטי המכיל לעתים תרכיזי

פיריט מחומצנים לגחטיט ומעליה שכבה של כ-0.5 מ' של פוספט לימוניטי ובו נודולות פוספטיות. בגג שכבה זאת ומתחת לפצלים שגילם מאטטריכט תחתון (?) נמצאת שכבה ירוקה-שחורה בעובי של 1-0.5 מ' המכילה שורה של מינרלים שחלקם הוגדר לאחרונה (פנצר ואחרים, 1988). נפוצים בהם פוספטים וסולפטים של ברזל. כמו כן עשיר אופק זה בתופעות גבס ואנהידריט.

תחנה 4 - קונגלומרט ערבה? והצפית על שבר פוסט סנוני (נ.צ.מ. 1739/0343)

מנקודת תצפית זאת ניתן לצפות על:

א. שבר בעל זריקה אנכית של 60 מ' לפחות שכא גרם לשינויים בתוך בבלוק העלוי לעומת הבלוק הירוד.

ב. ההתכסות ההדרגתית של שכבות הפוספט כלפי צפון מתחת לתצורת הלשון. באחד הקידוחים בנ.צ. 1767/0365 מתחת ל-6 מ' של תצורת הלשון מצויה שכבת פוספט בעובי של 2.4 מ' ובתכולה ממוצעת של 28.6% תחמוצת זרחן. בקידוח אחר בנ.צ. 1761/0350 נמצאת שכבת הפוספוריט בעומק של 63 מ' מתחת לפני השטח. בקידוח זה השכבות מתצורות ע'רב ומישאש הן ביטומיניות החל מעומק 23 מ' (14 מ' מתחת לבסיס תצורת הלשון).

ג. תתך בקונגלומרט שאיננו דומה לקונגלומרט התחתון של החצבה הנחשף באיזור זה למשל בנ.צ. 1735/0328 שבו גם המחשוף המכא ביותר של תצורת הצבה, על כל פרטיה, בצפון הערבה. הקונגלומרט כאן מכיל יחסית הרבה חלקי גיר מעוגלים, חלקי צור וקורציט, גריט חולי וליכודו רופף לכאורה. מונח כי זה הוא "קונגלומרט הערבה" המופיע בד"כ באי התאמה מעל תצורת הצבה או תצורות קדומות יותר.



תחנה 5 - פוספט ברזלי (נ.צ.מ. 1736/0338)

חתך הדומה לזה שנצפה בתחנה 3 כאשר עוביו מצומצם ויש בתוכו תרכיזי פיריט מחומצנים לרוב.

מאיזור עין עופרים ניסע כ-1/2 שעה, דרך חצבה אל איזור מעלה העקרים ובו נסייר בשדות עקרים וירקעם, ב 6-8 תחנות שביניהן נסיעות קצרות.

שדות עקרים וירקעם

תחנה 6 - תצפית ממעלה העקרים - (נ.צ.מ. 1625/0352)

מנקודת התצפית ניתן לראות את השתרעות שדות הפוספטים של עקרים וירקעם (צפון ודרום) שבהם יש התפתחות מירבית של פרט ה"סדרה הפוספטית" באיזור נחל צין.

הגיאולוגיה באיזור זה הובהרה בעיקר כתוצאה של סקרי הפוספטים שהתבצעו למעשה ברציפות מאז שנות ה-50 ע"י גורמים שונים כמו: "מחצבי ישראל" בשנות ה-50, המכון הגיאולוגי החל משנות ה-60 ואיכך, חברת "פוספטים בנגב" משנות השבעים ואיכך ופרוייקט ספ"א בשנות ה-80.

שדות עקרים וירקעם תוארו בדו"חות של שיכוני ונחמיאס, (1972); רווד ואחרים, (1972); שיכוני ופלדכיט, (1980); מיכר, (1983); ושטרית, (1986). כמו כן מופה האיזור לאחרונה בק.מ. 1:50,000 ע"י אכרון (1980) ורווד (1983) ובק.מ. 1:5,000 ע"י שטרית (1986) ושיכוני (1988).

חתך של החלק התחתון של "הסדרה הפוספטית" המכיל שכבות קרבונטיות, פורצלניטיות, שכבות צור דקות ושכבות פוספוריט דלות באיכותן בד"כ בוצע ועובד מבחינה פליאונטולוגית בנ.צ.מ. 1635/0325 (דויטש, 1985).

החלק העליון של "הסדרה הפוספטית", הנקרא לעתים "פוספוריט עיקרי", מתאפיין במחזוריות של שכבות פוספט (עד 8 במספר) המופיעות לחילופין עם קירטון פוספטי, חואר, בולבוסים, שכבות צור דקות ופוספט מצורר בעובי כולל של כ-20 מ'. השינויים הפאציאליים הלזרליים הם מעטים והדרגתיים וניתן לעקוב אחר אותן השכבות (ובעיקר אחר שכבות הפוספט) לאורך עשרות ק"מ לאורך הסינקלינה וקילומטרים ספורים לרוחבה.

האיזור של מרגלות מעלה העקרים מצטייר כשקע סטרוקטורלי שבו "הסדרה הפוספטית" והחלק שנשאר מתצורת ע'רב הינם ביטומיניים (היכדברנד-מיטלפלדט ושיכוני, 1985).

הפוספוריט בשדות עקרים וירקעם שמור בטרסות שגובהן 30-60 מ' מעל לפני הים ולהן נטיה קלה לנחל צין. הטרסות צעירות יחסית (פוסט תצורת מזר מגיל פליוקן) וצורתן הנוכחית עוצבה ע"י התתירה של נחל צין ונחלי ירקעם, גוב ועקרים המתנקזים אליו. למרגלות מעלה העקרים מונחים מעל תצורת מזר גושים טורוניים גלושים (שיכוני, 1983).

תתך המייצג את יחסי השדה של היחידות הסטרוטוגרפיות וגם של הקומפקט הפוספטי והביטומיני מוצג בציור 6.

#### תחנה 7 - תצורת מזר (נ.צ.מ. 1624/0331)

סיוור רגלי של 1 ק"מ בנחל גוב שבו ניתן לראות את תצורת מזר על פרטיה השונים (ציור 7) המכסה את התתך הפוספטי ואת תצורת ע'רב. בבסיס תצורת מזר, מצוי קונגלומרט המכיל חלוקי גיר מעוגלים במיון גרוע וחלוקי צור מעוגלים פחות בתוך מטריקס חולי ומלוכדים ע"י קרבונט. קונגלומרט זה יוצר מדרגה מצוקית אופיינית. ניתן לפרשו או כבאחאדה שהוותה אקויפר שדרכו עברו מים עם קרבונטים מומסים ששקעו ולכדו את הסלע (Roded, 1985) או כמשקע של אפיק קדום שמיקומו אינו זהה לאפיק הנוכחי של

נחל צין. מעל קונגלומרט זה מופיעים חולות ויותר גבוה בחתך למינות של קירטון חוארי. כאן נמצאה פאונה מרינית ברקית דומה לזו שתוארה ממחשוף קנץ ברמת מזר (Shahar et al., 1973) והיא מצביעה על חדירה ימית בתקופת הפליוקן.

בקרבת תחנה זאת נמצא קידוח שבו אותר מתחת לכיסוי של תצורת מזר בעובי של 13.0 מ' חתך ביטומיני שעוביו כ-50 מ' והמורכב מתצורות ע'רב ומישאש. קידוח זה מצוי במרחק של 30 מ' ממחשופים של התצורות הנ"ל שאינם ביטומיניים והוא מעיד על תופעות חימצון מאוחרות של סלעים ביטומיניים הנידונות בכנס זה ע"י שיכוני (1988).

תחנה 8 - גוש גלוש של סלעים טורוניים (נ.צ.מ. 1635/0350)

תצפית מקרוב על גלישה שהזיזה איתה חלקים של הצור המסיבי של תצורת מישאש ושל סלעים גיריים מתצורות שבטא ונצר. מדובר בגוש שממדיו הם 500x500x30 מ' ולפיכך מוערך משקלו בכ-20 מיליון טון שגלשו כגוף אחד. מאחר ואין עדות לסלעים מגיל מנוחה בגוש הגלוש מונח כי הוא הועתק ממעלה הסטרוקטורה במקום שעובי תצורת מנוחה הוא אפס. לאחר ארוע הגלישה פעלו כוחות האירוזיה והבליה ויצרו ואדי החוצה את הגוש וכן שכבת בליה המכסה אותו. הצגה סכימטית של סוגי גלישות שונים מובאת בציור 8.

סיבות אפשריות לגלישה הם:

א. אפיק זרימה קניוני למרגלות רכס חצרה שהווה גורם לערעור יציבות המדרון.

ב. חדירה ימית פליוקנית הביאה מי ים במגע עם סלעים ברכס החופי וגרמה לחלק מהם להוות בסיס להחלקת הסלעים הקשים הנותרים.

ג. מי תהום גבוהים בפליו-פליוסטוקן בעת שנוצרו אגמים עונתיים שהשקיעו את החוארים של תצורת מזר.

ד. תקופות גשומות שהחדירו מים לשכבות חואריות בחבורת יהודה (תצורת דרורים למשל) והחלישו את העמידות המיכנית.  
ה. ליניאמנט המקבייל כרכס חצרה ואשר פורש בעבר כשבר צעיר מאד השובר את הזרסות למרגלות מעלה עקרבים (ערן, 1981) ואשר גרם לזעזועים ואי יציבות.

תחנה 9 - מסה גלושה של סלעים מגיל איאוקן (ג.צ.מ. 1643/0347)

האם היו קיימים סלעים מגיל איאוקן באיזור נחל עקרבים? מחשופים של גלישה עתיקה הבנויים מסלעי חבורת עבדת (תצורת פראן?) והנמצאים על גבי תצורת מזר מצביעים כנראה על כך שמחשופים של סלעים איאוקניים היו מצויים על רכס חצרה בתקופה "לא כל כך רחוקה".

תחנה 10 - תצפית על עין צין (ג.צ.מ. 1642/0337)

1/2 שעה הפסקת צהרים במקום שממנו ניתן לבצע תצפית על נאת המדבר הגדולה בישראל. סקירה קצרה על תהליך רצנטי של התמלחות עין עקרבים ועין צין.

תחנה 11 - תצפית על מכרה ירקעם דרום (ג.צ.מ. 1596/0312)

דרומית לנחל ירקעם (המשכו של נחל חתירה) מצוי המכרה העיקרי של "פוספטים בנגב" בנחל צין. בשנים האחרונות נכרים כאן מדי שנה 4-3 מיליון טון חומר גלם ומסולקים 5-4 מיליון מ"ק של כיסוי מפל שעוביו הממוצע כ-22 מ' והוא מורכב מ-5-3 מ' סחיף עליון, 12-8 מ' תצורת מזר ומספר מטרים של חואר מתצורת ע'רב. בחלק מהשדה נכרית "שכבה כלכית" דהיינו חתך בעובי של 11 מ' המכיל 5-1 שכבות פוספוריט ביחד עם החומר המפל שביניהם ובחלק מהשדה



מנוצלות שכבות סלקטיביות בעובי של 4 מ' בלבד וכל זאת כדי להגיע לתוצרת הניתנת למכירה ושתכולתה צריכה להיות 32.0% ת.ז. לפחות. שדה ירקעם דרום הוא המקור העיקרי לאספקת פוספט דל אורגני ומכאן חשיבותו הרבה. פוספט בעל ריכוזים של יותר מ-0.4% חומר אורגני גורם לבעיות בתהליכי הניצול (יוצר קצף ותרכובות בלתי רצויות במתקנים) ואינו מתאים ליצור חומצה זרחתית. ככל שריכוז החומר האורגני גבוה יותר הוא מתאים פחות לתהליכי ההשבה הטכנולוגיים השגרתיים.

הערכת השדה כללה בחיכה כ-25 מיכיון טון פוספוריט, להוציא את הפוספוריטים שמתחת לשכבות הפורצלניט אשר עשויים היו להגדיל את מצבת הרזרבות ב-15%, אבל נמצא שניצולן של שכבות אלה אינו כלכלי וברוב שטח השדה הן ביטומיניות.

הכריה מתבצעת במספר מדרגות כריה ונעזרת בפיצוץ של שכבות קשות. חלק מהטפלים הפוספטיים נאגרים בערמות למטרת ניצול בעתיד. מעריכים כי הכריה המואצת של שדה זה תגרום לאזילת הרזרבות בו תוך כשנתיים.

#### תחנה 12 - תצורת מזר בירקעם דרום (נ.צ.מ. 1595/0313)

תצורת מזר בשדה זה מאופיינת בפציאס קונגלומרטי עם ליכוד דל, וכן חולות וחוארים המתחכפים בקונגלומרטים. ניתן לצפות מקרוב במגעים של תצורת מזר וגושים הגלושים לתוכה. במקום זה ניתן לראות כי הגוש הגלוש משוכב מבחינה מורפולוגית בתוך הטרה ונראה כי הגיע אל מיקומו הנוכחי בזמן השקעת תצורת מזר או לפני כן שכן לחוארים לא נגרם במגע עוות ניכר. במקומות אחרים שנחשפו ניתן להראות גושים שגרמו לדיפורמציה ניכרת של החואר ולכן מוערך שהגיעו למקומם הנוכחי אחרי השקעת תצורת מזר.

תחנה 13 - החתך הפוספטי בירקעם דרום (נ.צ.מ. 1596/0313)

תצפית מקרוב על חתך פוספטי דל בחומר אורגני האופייני לשדה ירקעם דרום. לשם השוואה מובא ציור 9, שהוא חתך עמודי ממוצע (כפי תוצאות הקידוחים) בשדה ירקעם צפון ודומה בעיקרו לחתך הנכרה ומנוצל בירקעם דרום.

שדה הר ההר

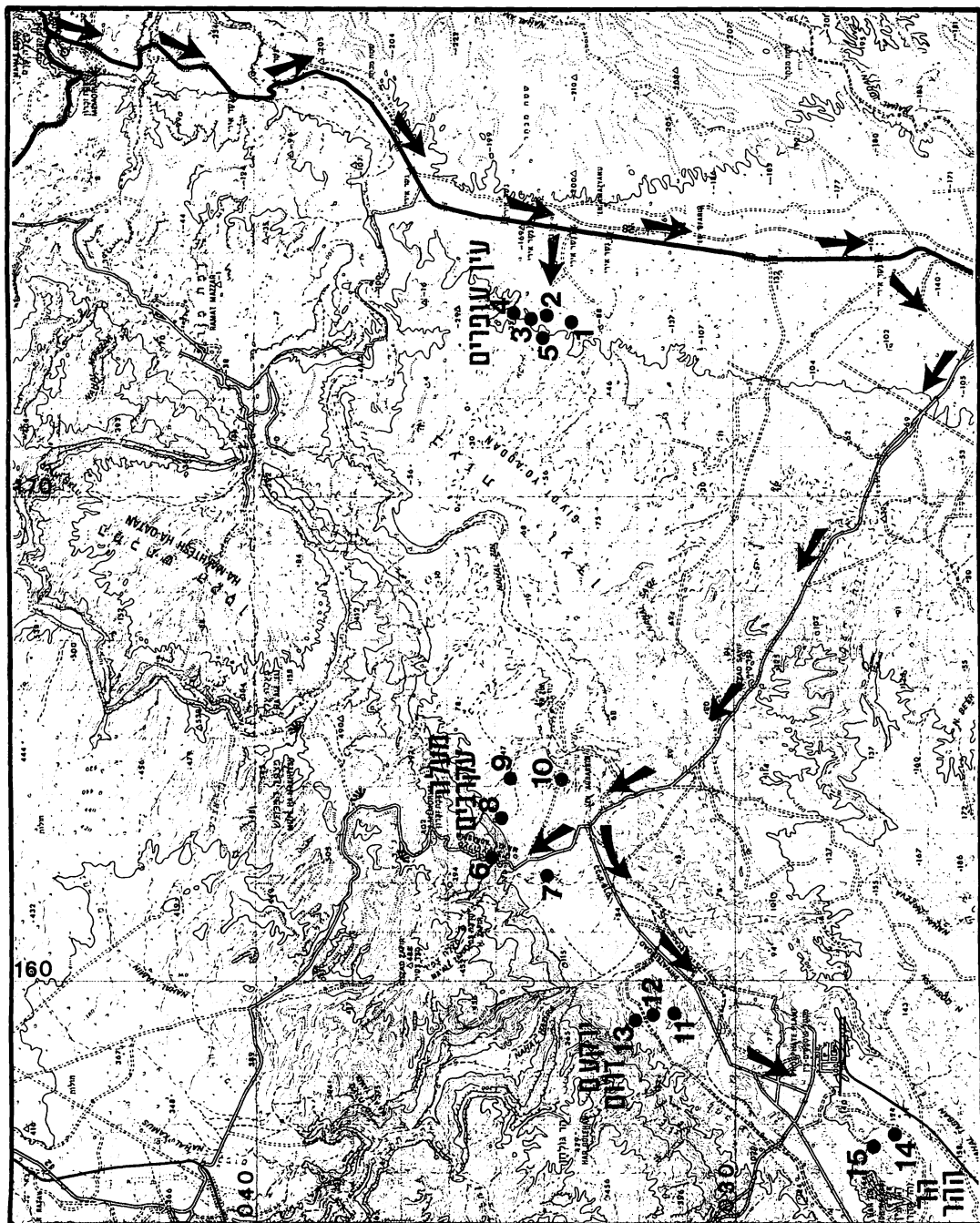
מאיזור ירקעם דרום נסיעה של כ-1/4 שעה לאיזור הר ההר כדי לראות את ה"פוספוריט העיקרי" בהופעה ביטומינית. כאן יתבצע סיור רגלי של כ-1.5 ק"מ ובו שתי תחנות עצירה. במעבר מתחנה 14 ל-15 נחצה את השכבות העליונות של החתך הפוספטי בהם קיימת הופעה מרשימה של בולבוסים (Sass and Kolodny, 1972) שכבר קנתה לה פרסום ב"שדה הבולבוסים" האופייני לשמורת הר ההר.

תחנה 14 - חתך ביטומיני במכרה נסיוני (נ.צ.מ. 1567/0272)

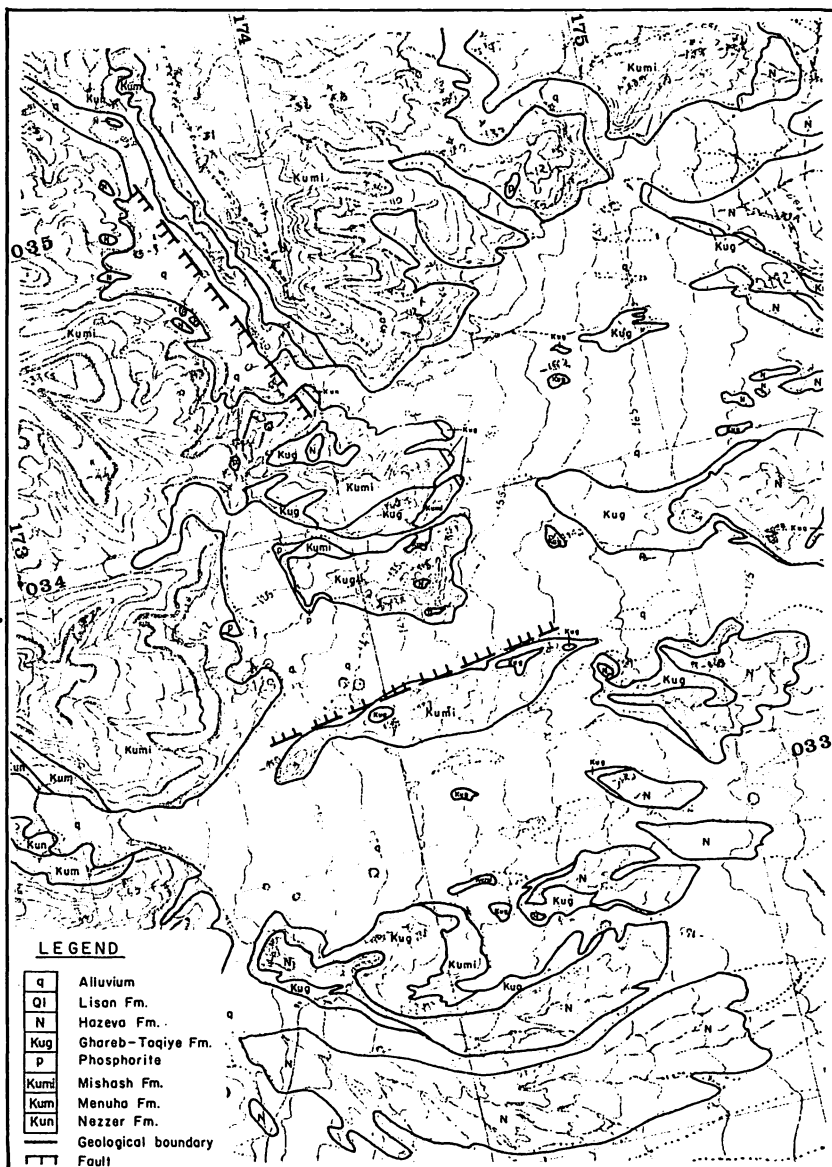
ביקור במכרה נסיוני חדש של "פוספטים בנגב" בתצורות ע'רב ומישאש שבו החתך הינו ביטומיני. מטרת מכרה זה קבלת דוגמאות תעשייתיות למחקר ופיתוח שיטות ניצול. בפצלי השמן מתצורת ע'רב ריכוז החומר האורגני מגיע עד 20%. בתצורת מישאש לכל סלעי ה"פוספוריט העיקרי" ריכוזים של חומר אורגני הנעים בטווח של 10-2%. ניתן לצפות כאן בתופעות מיקרו טקטוניות של slickensides ושבדונים ובקוי חימצון של פצלי השמן. ייתכן כי חלק מהסידוק הרב הנצפה בעיקר בשכבות מחומצנות יחסית של תצורת הע'רב מעיד על התארגנות חדשה של הסלע בתגובה על שינויי נפחים ולשחרור לחצים של CO2 שנוצר בתהליכי החימצון.

תחנה 15 - הידרוקרבונים? אספלט? (נ.צ.מ. 1564/0274)

תצפית על סלעי תצורת ע'רב שהוספגו, בסדקים, בנוזלים דמויי אספלט. יצירה של אספלטים והידרוקרבוניס אחרים מפצלי השמן הסנוניים מחייבת קבורה של החתך בעומק ובטמפרטורה מתאימים (טננבאום, 1983). מונח כי בהר ההר התופעה שונה במהותה שכן החתך הסנוני כנראה לא הגיע לתנאים של "חלון הנפט" וכהיפך. תופעת ההנזכה נראית כצעירה מאד וקשורה בתהליכי החשיפה והסידוק המאוחרים של הסלע. החומר דמוי האספלט הוא בעיקרו חומר אורגני מחומצן, עשיר במרכיבים הומיים שהם מסיסים בחלקם במים בסביבה בסיסית. מוערך כי החומר האורגני של סלעי תצורת מישאש (שיש להם תכונות שונות במקצת מאלה של תצורת ע'רב גם במונחי ערך קלורי ומיצוי שמן) עבר הנזכה והנוזלים נסחטו לסדקים הפתוחים בתצורת ע'רב מעליהם. בסדקים סגורים שבתצורה זאת אין סימני נוזלים כנ"ל.

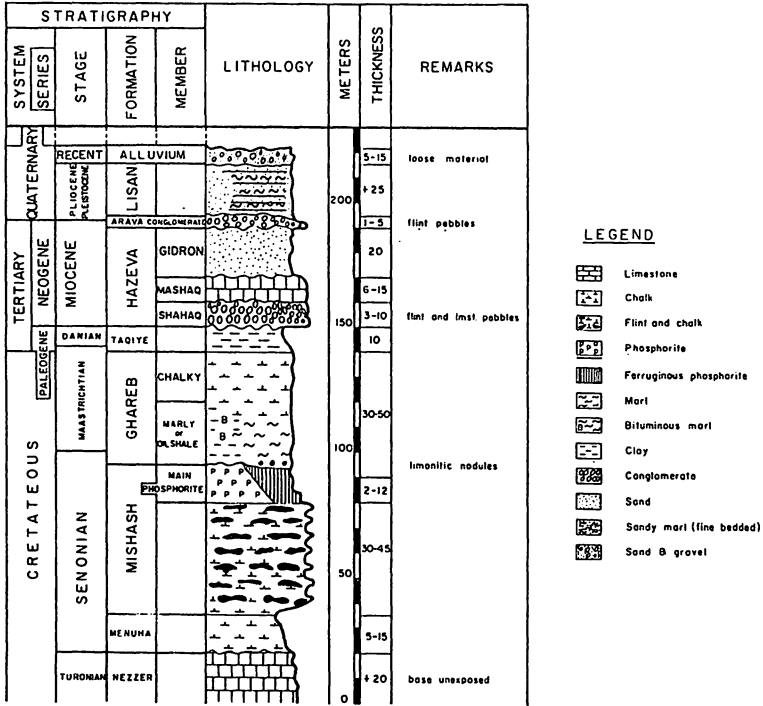


גורר 1 - מסלול מפורט של תחנות סיוור 2.

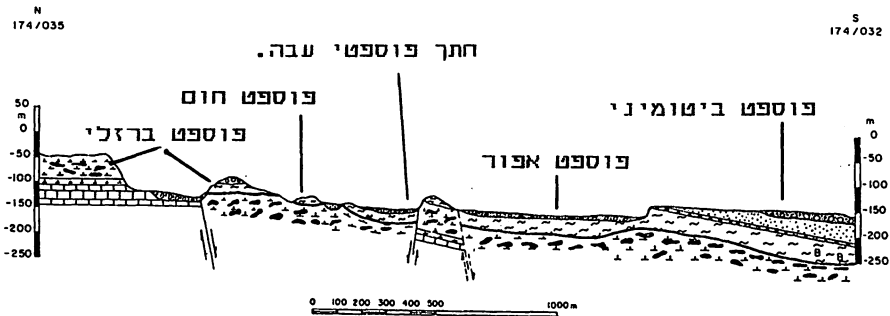


צור 2 - מפה גיאולוגית של איזור עין עופרים.

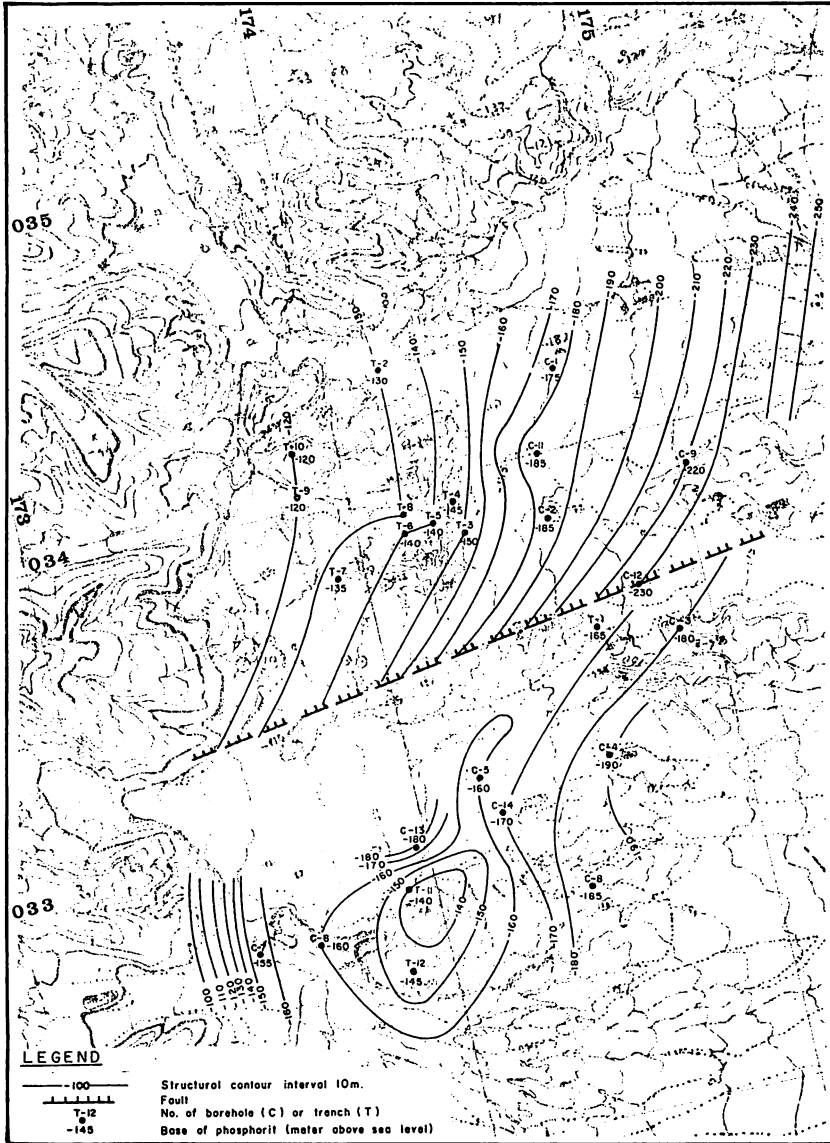
A. GENERAL COLUMNAR SECTION OF THE 'EN 'OFARIM AREA



B. SCHEMATIC CROSS SECTION OF THE 'EN 'OFARIM AREA

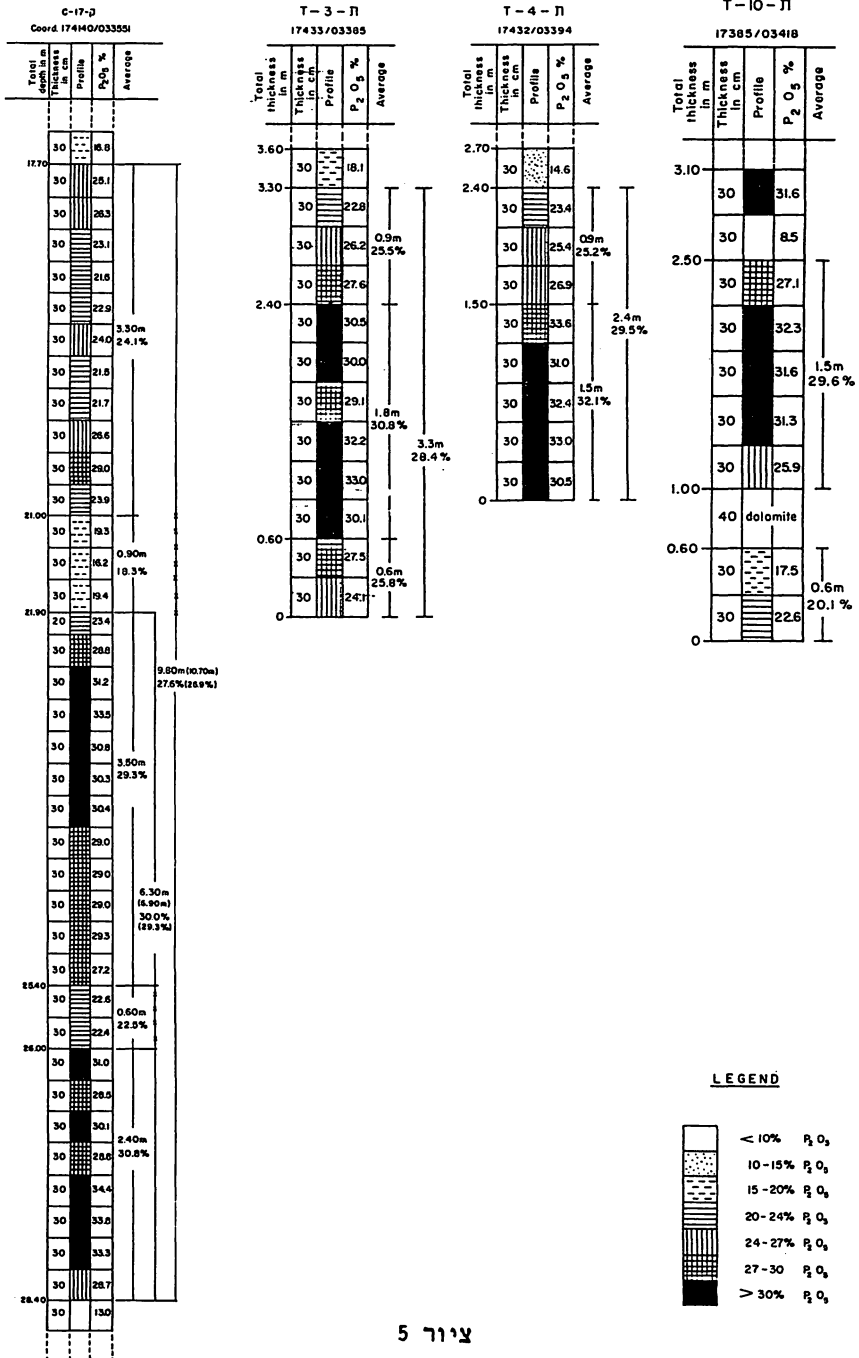


ציור 3 - חתך עמודי וחתך רוחב בשדה עין עופרים.



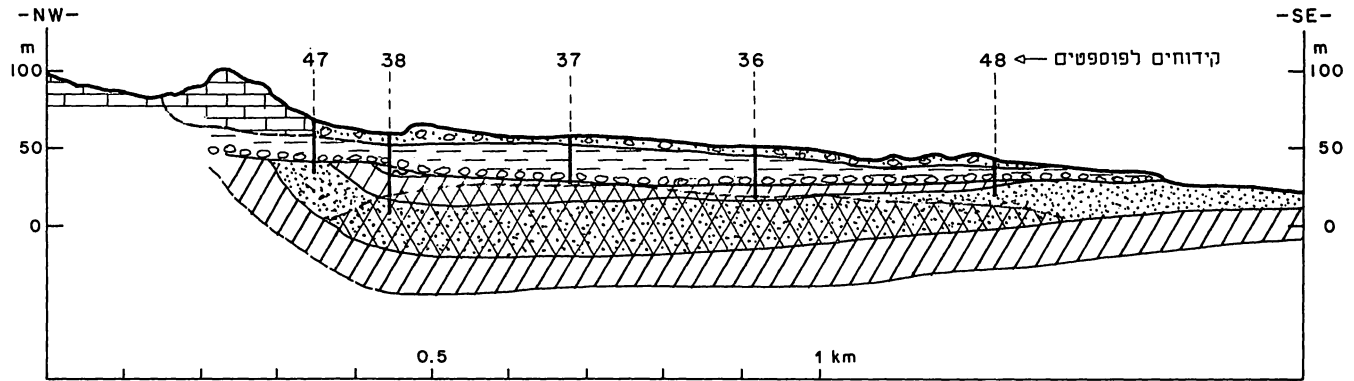
ציור 4 - עין עופרים - מפה סטרוקטורית של "בסיס פוספוריט עיקרי" (לפי נתוני קידוחים).

פיזור ת.ז. בחתכים נבחרים בצפון עין שופרים

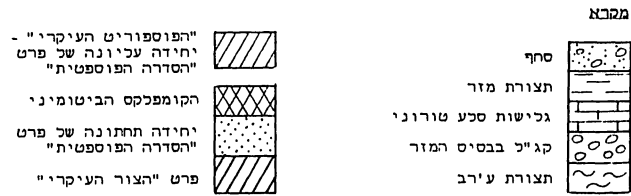




חתך רוחב באזור למרגלות מעלה עקרבים

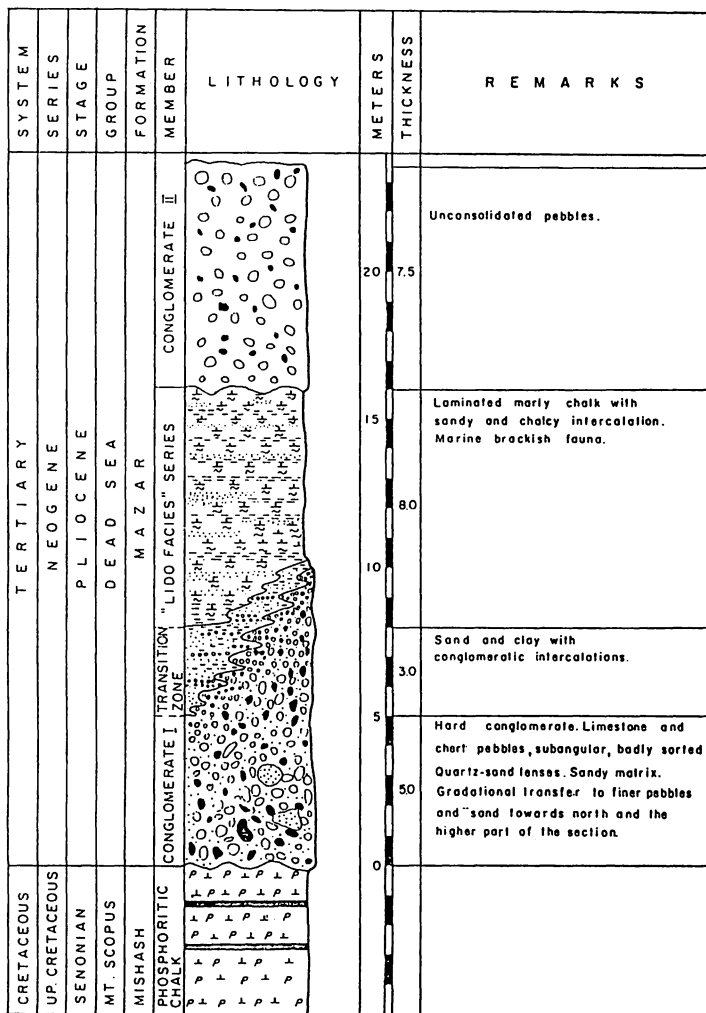


— 25 —



צוור 6

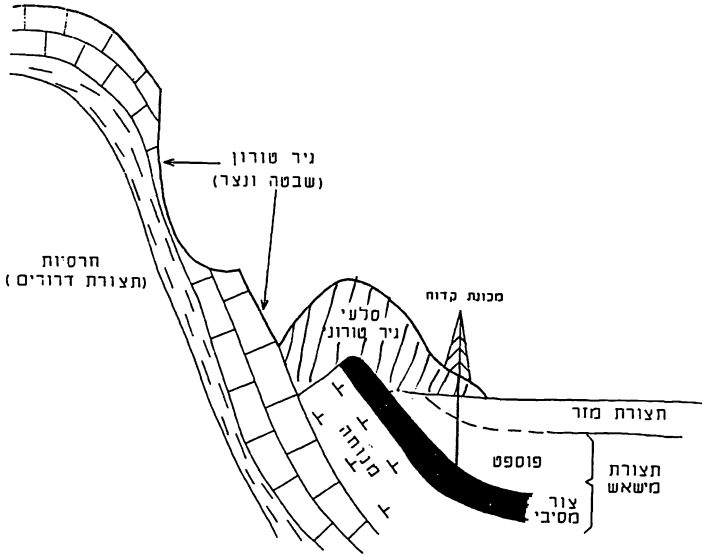
COORD. 1620/0335 - 1620/0345



ציור 7 - חתך של תצורת מזר בנחל גוב (מתוך אכרון, 1983).

## תאור סכמטי של הגלישות

### א. מסות גדולות של סלע גלוש



### ב. מסות קטנות יחסית



חתך עמודי ממוצע (מקידוחים)  
בשדה יורקעס - צפון

| ח.ת. כלי              | ת.א.ר       | ליחולניה   | עובי כ"ס | % 205<br>בנלם | % ח.א.<br>באזור | % ח.א.<br>באזור<br>במקומי |
|-----------------------|-------------|--|----------|---------------|-----------------|---------------------------|
| כיסוי<br>ספל<br>עליון | אזור<br>סדר | שכבת כיסוי אלוביאלית המאופיינת ע"י שכבת סחף צעיר בנוי, וחילופין של שכבות סחף דקות נרגר ונסות-נרגר קונגלוסרטים בדרגות ליכוד שונות, חול בלתי-סלכד וחואר, השייכים לתצורת סדר היאוננית והמאפיינים אותה. לפעמים בחלק העליון מוצאים אבן-גיר טורוגנית שנלשה מהאנטיקלינה | 16,00    |               |                 |                           |
|                       |             | חואר צהוב בעל קשי בינוני מתצורת ע'רב הסנונית (נסטרקיס) לפעמים מופיעה שכבת פוספס נוספת (V) לקראת הבסיס  | 8,00     |               |                 |                           |
| פוספס Y               |             | פוספוריס נס-נרגר בצבע צהוב חום עד שחור לעיתים מופיעה שכבה חוארית המחלקת את השכבה לשתי שכבות X ו-Y  | 1,20     | 24,00         | 0,25            | 4,70                      |
| סלע חיפוי             |             | חואר נירי-פוספסי קשה, מכיל גריפאות   | 0,80     |               |                 |                           |
| פוספס IV              |             | פוספוריס נס-נרגר, עבה ונקי מסוהמים   | 2,20     | 25,70         | 0,28            | 6,00                      |
| ספל II-III            |             | חואר פוספסי בהיר עד ביסוסני. אופקי בולבוסי אבן-גיר גדולים העוטפים בשכבת חרסית דקה.   | 1,40     |               |                 |                           |
| פוספס IV-III          |             | פוספוריס דק-נרגר   | 0,80     | 24,20         | 0,29            | 4,70                      |
| ספל III               |             | שכבה מנוונת המורכבת מחואר-פוספסי, אופקי שכבת בולבוסי אבן-גיר קטנים וענ"א אופקי צור האחד בבסיס השכבה והשני כולו בצנ"א   | 1,30     |               |                 |                           |
| פוספס III             |             | פוספוריס   | 0,90     | 25,80         | 0,30            | 4,80                      |
| ספל II-III            |             | חואר-חרסיתי פוספסי, שכבת צור בבסיס   | 0,80     |               |                 |                           |
| פוספס III-II          |             | פוספוריס   | 0,40     | 24,50         | 0,31            | 5,90                      |
| ספל II                |             | חרסית-פוספסית, צורי-חואר   | 0,60     |               |                 |                           |
| פוספס II              |             | פוספוריס   | 1,20     | 27,80         | 0,31            | 3,70                      |
| ספל I-II              |             | פורצלינס עבה בד"כ ביסוסני.   | 4,80     |               |                 |                           |
|                       |             | בנון הפורצלינס מופיעה בד"כ שכבת צור עבה.   |          |               |                 |                           |
| פוספס I-II            |             | פוספוריס חוארי, קשי בנוי, בד"כ ביסוסני   | 0,50     | 24,80         | 0,36            | 5,30                      |
| ספל I                 |             | אבן-גיר חוארית - פוספסית קשה מאוד בד"כ ביסוסנית  | 1,20     |               |                 |                           |
| פוספס I               |             | פוספוריס רך, בד"כ ביסוסני, קשי בינוני  | 1,20     | 25,60         | 0,60            | 5,90                      |

סיור מס. 3: תצורת הלשון בדרום ים המלח

ז.ב. בגין, י. דרוקמן המכון הגיאולוגי  
י. דן, מכון וולקני

מבוא

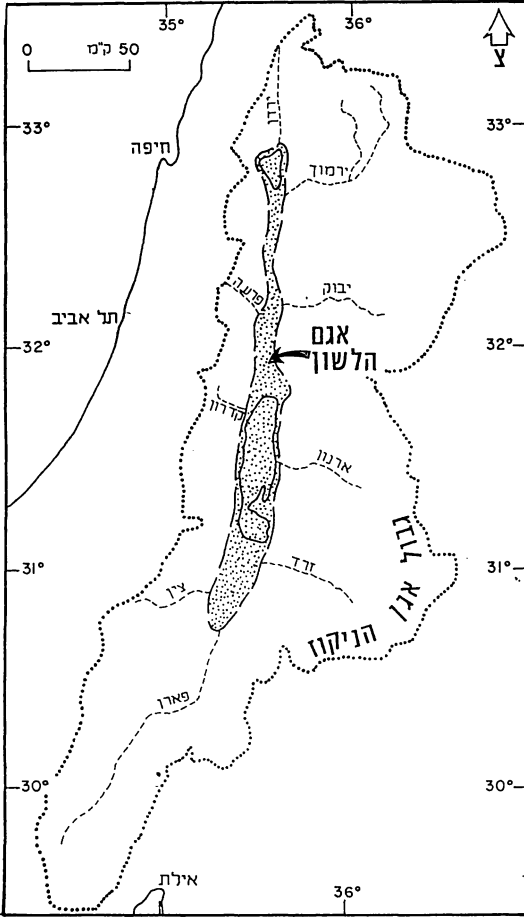
מטרת הסיור היא להכיר את תצורת הלשון בדרום ים המלח. תצורת הלשון הורבדה באגם אשר מילא את בקע ים המלח מן הכנרת ועד חצבה, בין כ-60,000 לבין כ-14,000 שנים לפני ההווה. (איור 1). החתך האופייני לתצורת הלשון הינו חילופין של למינות ארגוניט וחרסית וכן מצויות בתצורה שכבות גבס, חול וחלוקים ובצפון שכבות אחדות של דיאטומיט. עפ"י ההבדלים בהרכב התצורה בכיוון צפון-דרום הובחנו בה שלושה פאציס: פאציס "דיאטומיט" בצפון, פאציס "ארגוניט" במרכז ובדרום, ופאציס "גבס" באיזור ים המלח. המאפיינים של פאציס אלה מפורטים בטבלה מס' 1, ובאיורים 2-6. המגמות מצביעות על כך שהמקור העיקרי למים המתוקים שנכנסו לאגם הלשון היה בצפון.

הווצרותן של הלמינות הכהות והבהירות לסירוגין מוסברת כדלהלן: בעונה הגשומה הובלו לאגם הלשון מי נחלים, ובהם גם גרגרי חול וחרסית. אצות צורניות החיות רק במים מתוקים התפתחו במים אלה, בין אם בנחלים עצמם ובין אם בשכבת מים מתוקים אשר יתכן שצפה זמן קצר מעל גוף המים המלוח והכבד יותר של אגם הלשון. באותו זמן חיה על קרקעית האגם המלוח אוכלוסית אצות צורניות העומדות במליחות גבוהה. כאשר גרגרי החרסית, יחד עם אצות צורניות של מים מתוקים שקעו מן המים אל קרקעית האגם, הם התערבבו שם באצות הקרקעית, וכך נוצרה למינה כהה של חרסית שיש בה תערובת של אצות צורניות של מים מתוקים עם כאלה של מים מלוחים. עם המעבר לעונה היבשה עלתה מליחות שכבת המים העליונה ע"י התאדות וערבוב עד כדי 5%-15%. כשהמים הגיעו

לרוויה מבחינת פחמת הסידן נוצרו גבישי ארגוניט לבנים ששקעו לקרקעית האגם, התערבבו שם עם אצות הקרקעית, וכך נוצרה למינה בהירה, הבנויה ארגוניט ואצות צורניות של מים מלוחים (איור 7). במרכז, באיזור פאצייס הגבס, לא התפתחה כמעט אוכלוסית הדיאטומיאות הבנטוניות, כנראה עקב עומקו הרב של האגם ומליחותו הרבה.

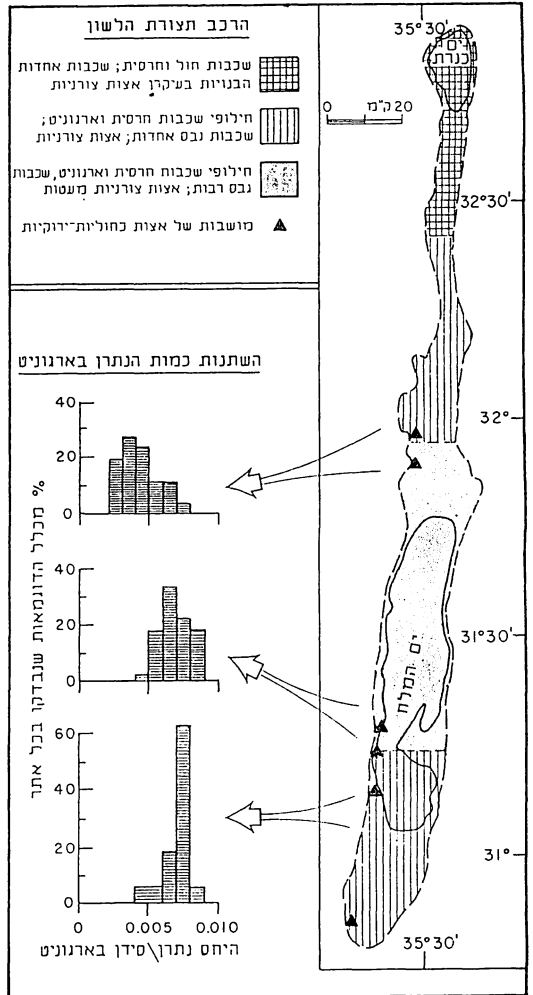
במחשופים שבשולי האגם ובמיוחד לאורך מניפות הנחלים שהזינו אותו, ניתן לראות את המעברים מפאציס פלוביאלי של קונגלומרטים ואבני חול דרך פאציס חופי של חילופין בין אבני חול וחואר עד לפאציס אגמי של קירטון למינרי (איור 8, Sneh, 1979). מעברים לטרליים אלה נדרו אל מרכז האגם כאשר מפלסו ירד ואל שוליו כאשר מפלסו עלה. סנה (1982), הגדיר שישה מחזורים סדימנטריים (איור 9) בנחל אמציהו ובכל מחזור מעבר אנכי מפאציס פלוביאלי דרך פאציס חופי לפאציס אגמי.

במהלך הסיור (ראה מיקום התחנות באיור 14) נצפה בחתך של תצורת הלשון בפאצייס "הגבס" (תחנה מס' 1 למרגלות מצדה), נראה מושבות של אצות כחוליות-ירוקיות (תחנה מס' 2 צפונית לנחל מור) נבדוק שינויים בחתך בין מרכז מניפת סחף שהורבדה באגם לבין שוליה (תחנה מס' 3, דרומית לנחל צין) ונסקור שינויי פאצייס בניצב לקו החוף של אגם הלשון (תחנות 4-8, בנחל אמציהו).



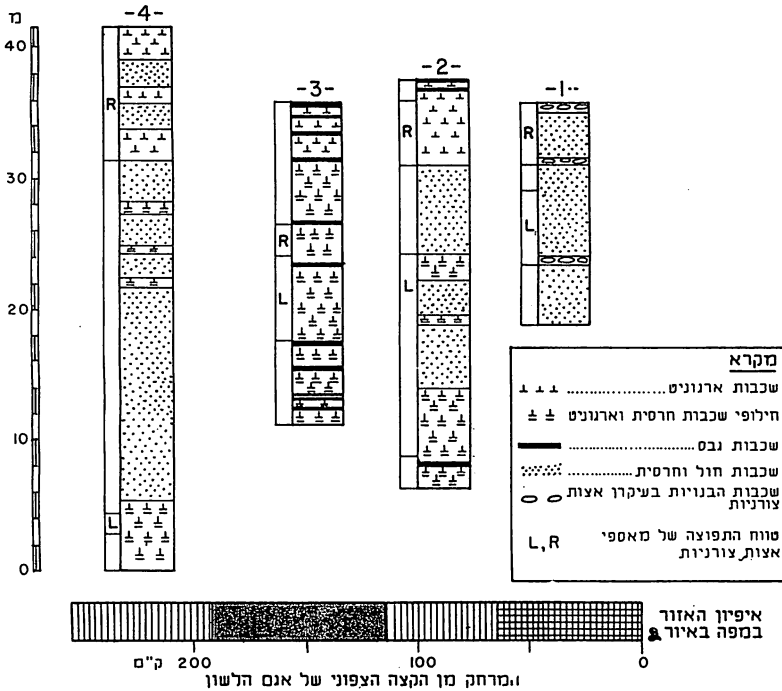
איור 1

מפת תחום ההתפשטות המירבית של אגם הלשון, שמפלסו היה בגובה 180- מ'. (איורים 1-6 מתוך בגין, 1988).



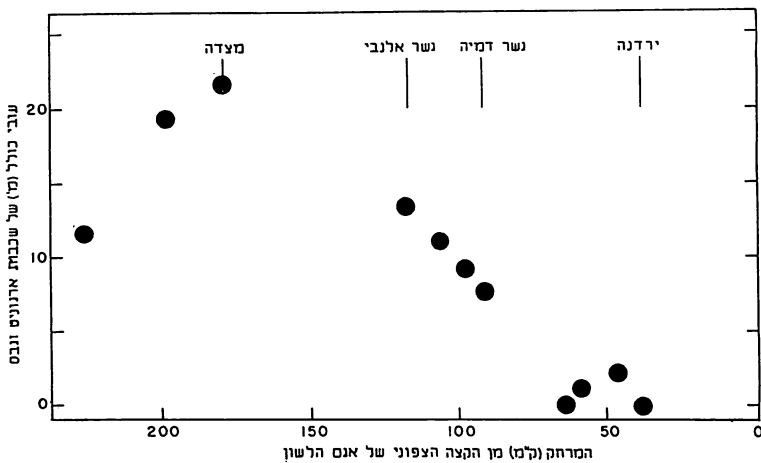
איור 2

המפה מציגה את השינויים בהרכב תצורת הלשון המבטאים את המליחות הגבוהה יותר של אגם הלשון באיזור ים המלח (עפ"י Begin et al., 1980).  
 בדיאגרמות מוצגת השתנות כמות הנתרן בארגוניט (מעובד עפ"י Katz et al., 1977). הגדלת הכמות היחסית של נתרן בארגוניט מבטאת גם היא את הגדלת מליחותו של אגם הלשון מצפון לדרום.



איור 3

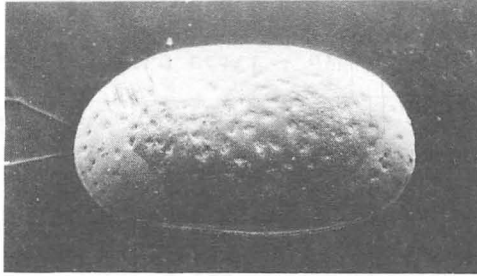
שינויים בהרכב תצורת הלשון: (1) - ליד ירדנה (נ.צ. 2034/2200); (2) - ליד דיר שמן, סמוך לירדן (נ.צ. 1997/1625); (3) ליד גשר אלנבי (נ.צ. 2007/1419); (4) בנחל אמציהו (נ.צ. 1819/0358). השרטוטים מייצגים את תצורת הלשון באזורים השונים כמצויין בחלק התחתון של האיור.



איור 4

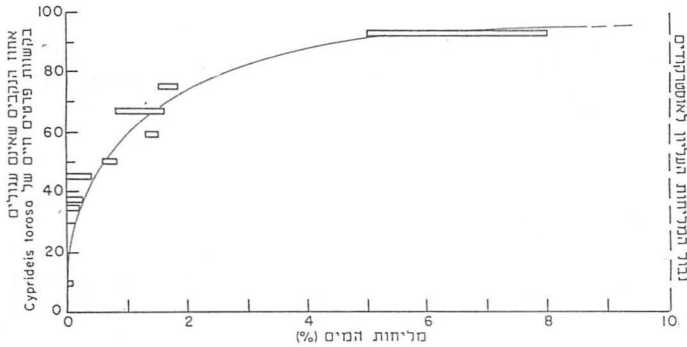
השתנות העובי הכולל של השכבות בתצורת הלשון הבנויות מינרלים שהם תוצרי אידוי (ארגוניט וגבס) לאורך אגם הלשון. הגדלת העובי לכוון דרום מצביעה על מליחות גבוהה יותר של מי האגם באזור ים המלח.





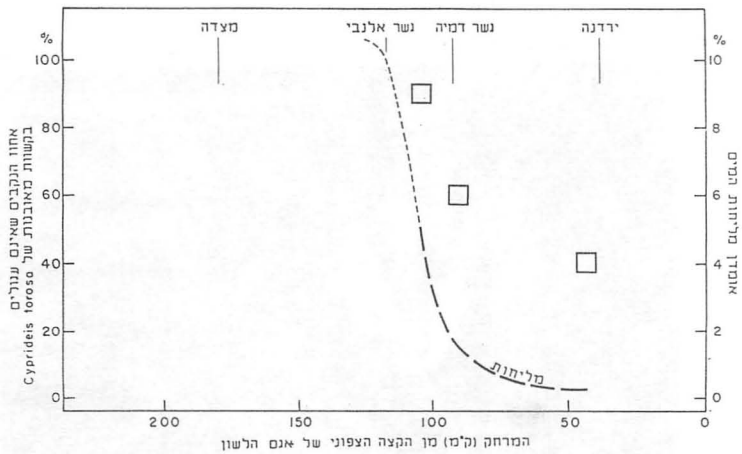
איור 5א'

הסרטן הזעיר (מסדרת *Cyprideis torosa* (ostracoda), חי בין שתי קשוות, ובכל קשווה עשרות נקבים בצורות שונות. ככל שמליחות המים עולה כן פוחת מספר הנקבים העגולים יחסית לנקבים בעלי הצורות האחרות. צילום במקרוסקופ אלקטרוני סרוק ע"י א. רוזנפלד, המכון הגיאולוגי, אורך הפרט 1.3 מ"מ.



איור 5ב'

הקשר בין מליחות המים לבין אחוז הנקבים שאינם עגולים בקשוות של *Cyprideis torosa*. המחקר נערך על סרטנים חיים במקוי מים בעלי מליחות שונה. מעובד עפ"י (Rosenfeld and Vasper, 1977).

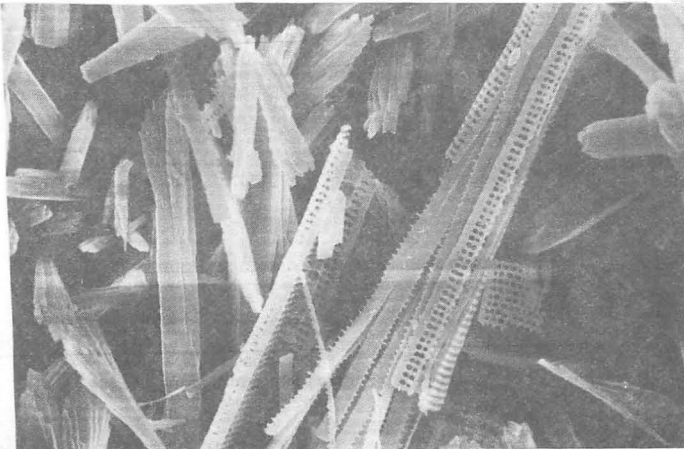


איור 6

ההשתנות לאורך אגם הלשון של אחוז הנקבים שאינם עגולים בקשוות מאובנות של הסרטן הזעיר *Cyprideis torosa* (מצוינת ע"י ריבועים), ואומדן מליחות המים באגם, עפ"י איור 5ב'. המליחות ליד גשר אלנבי הוערכה עפ"י העובדה שבאזור זה לא נמצאו אוסטרקודים בשכבה המקבילה.

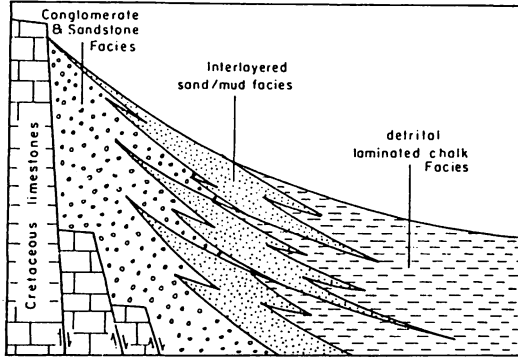
טבלה 1: תצורת הלשון - מגמות במרחב

| פאזיס                                   | פאזיס                  | פאזיס                             | התכונה  |
|---|------------------------|-----------------------------------|---|
| "גבס"                                   | "ארגוניט"              | "דיאטומיט"                        |   |
| 15-25 מ'                                | 5-20 מ'                | קטן מ-5 מ'                        | 1. עובי המשקעים הכימיים                                       |
| פחות מ-60%                              | 80%-60%                | גדול מ-80%                        | 2. % המשקעים הגרגריים בחתך                                    |
| נפוצות                                  | מעטות                  | מעטות מאד                         | 3. מציאות שכבות גבס   |
| נפוצים                                  | אין                    | אין                               | 4. מציאות תרכיזי גפרית  |
| אין                                     | מעטות                  | שכבות אחדות                       | 5. מציאות שכבות דיאטומיט                                      |
| מעטות                                   | נפוצות                 | נפוצות מאד                        | 6. מציאות שכבות נושאות אצות צורניות                           |
| בפרט ה"למינרי"                          | בפרט ה"מצוק הלבן"      | בשכבות המקבילות לפרט ה"מצוק הלבן" | 7. מיקומו של טווח האצה הצורנית <i>Rhopalodia gibberula</i>    |
| בעיקר בלמינות החרסית                    | בעיקר בלמינות הארגוניט | בכל החתך                          | 8. תפוצתן של אצות אירוהלינות                                  |
| אין אוסטרקודה                           | 80%-60%                | 40%                               | 9. אחוז הנקבים שאינם עגולים באוסטרקוד <i>Cyprideis torosa</i> |
| עולה מצפון (דיר שמן) דרומה (נחל פרצים)  |                        | לא נבדק                           | 10. היחס $N_a/C_a$ בארגוניט                                   |
| עולה מצפון (דיר שמן) דרומה (נחל אמציהו) |                        | לא נבדק                           | 11. $\delta^{13}C$  |

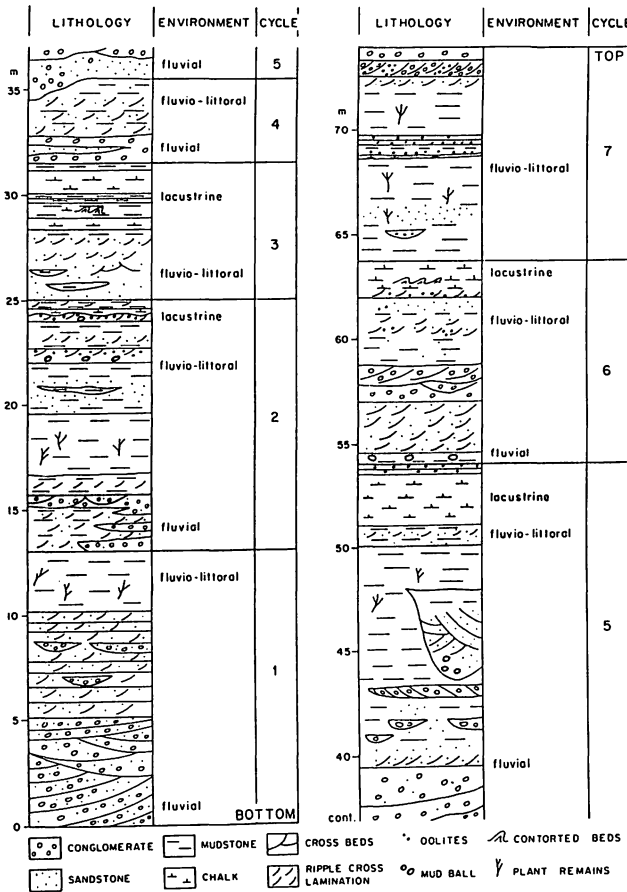


איור 7

גבישי ארגוניט מאורכים ודיאטומיאות המסתגלות לטווח רחב של מליחות, בלמינה מתצורת הלשון. צילום במיקרוסקופ אלקטרוני סורק (א. ארליך, המכון הגיאולוגי)



איור 8  
חתך סכמטי דרך מניפת נחל בשולי אגם  
הלשון. (מתוך Sneh, 1979).



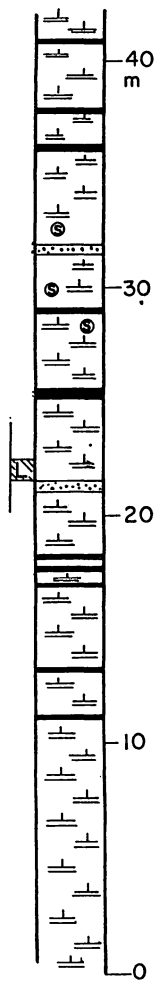
איור 9  
חתך מרכב של מחזורים נחליים - אגמיים בתצורת הלשון  
כפי שהם נראים במחשופי נחל אמציהו מנ.צ. 1838/0383.  
עד נ.צ. 1764/0273 (מתוך Sneh, 1982).

תחנה מס' 1, תצורת הלשון למרגלות מצדה (נ.צ. 1850080)

תצורת הלשון, שעובייה באזור מצדה כ-40 מ' (איור 10) מופיעה כאן בפאצייס ה"גבס", על מרכיביו, כמצוין בטבלה מס' 1. ניכרים היטב שני הפרטים הבונים את התצורה: הפרט התחתון, שבו, בין למינות הארגוניט, יש למינות רבות של חרסית, והפרט העליון, הבונה מצוק, ובו ריבוי למינות ארגוניט יחסית ללמינות החרסית. בנוסף מופיעות שכבות גבס אחדות לכל אורך החתך וגם, עקב חיזור הגבס, תרכיזי גפרית.

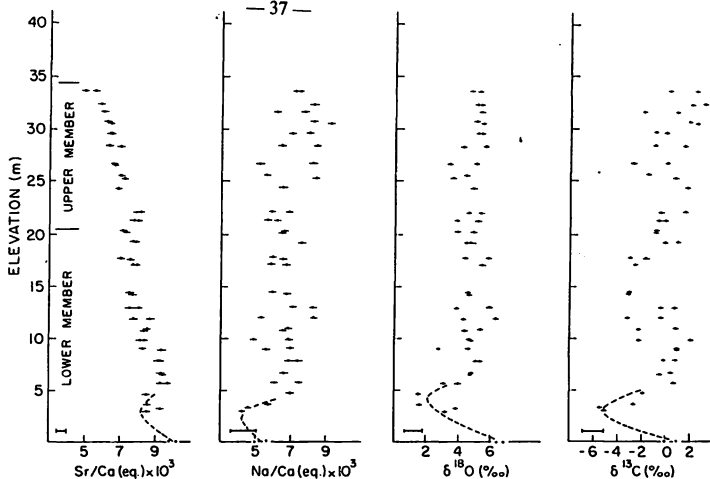
ההרכב הכימי והאיזוטופי של למינות הארגוניט - המייצגות את ההרכב המקורי של מי אגם הלשון - נבדק בפירוט רב (Katz et al., 1977). מבין המסמנים ארוכי הטווח, היחס  $Sr/Ca$  מראה ירידה עקבית בין בסיס החתך לבין גגו (איור 11). ירידה זו מצביעה על מיהול אגם הלשון עם הזמן: האגם העוברי היה מוגבל לאגן הצפוני, העמוק של ים המלח ובו הוא המיס תמלחת קדומה והגיע למליחות הקרובה לזו של ים המלח (כ-30%). עם הזמן גדל האגם והתמלחת נמהלה עד כדי מחצית ממליחות ים המלח. ערכי  $^{18}O$  הגבוהים יחסית מצביעים על כך שבכל הזמנים מי אגם הלשון היו מועשרים מאד ב- $^{18}O$  עקב אידוי נמרץ.

המסמנים קצרי הטווח - היחס  $Na/Ca$  ו- $\delta^{13}C$  - קורלטיביים ביניהם. (איור 12) הערך הגבוה יחסית של C במצדה מראה על ריחוק מן המקור העיקרי של המים המתוקים, שהיה בצפון האגם (איור 13). על כך מצביע גם היחס הגבוה של  $Na/Ca$ , יחסית לערכיו בחתך שנבדק צפונית ליריחו (איור 2) באופן כללי מצביעים ערכי היחס  $Na/Ca$  בארגוניט על מליחות מים בין 7% ל-17%.



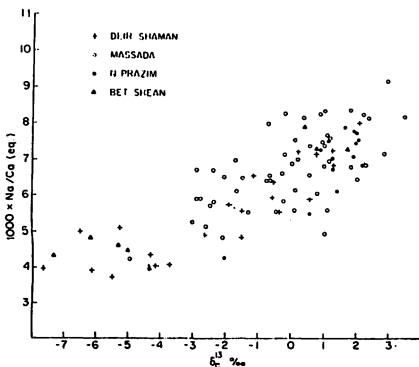
איור 10

חתך עמודי בתצורת הלשון באיזור מצדה (המקרא באיור 3).



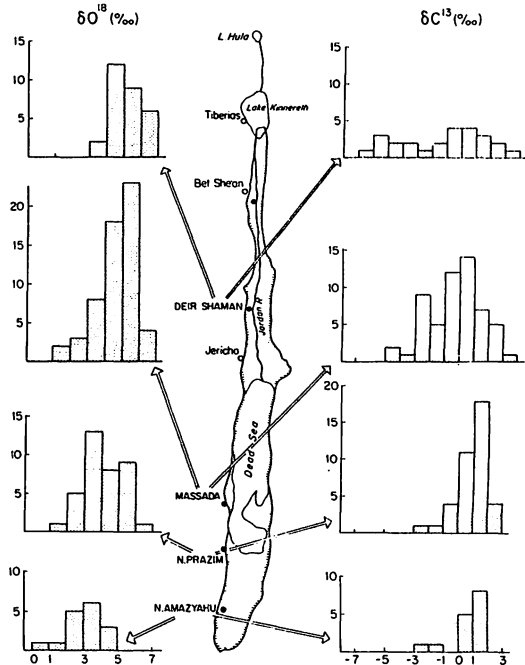
איור 11

ההשתנות של יחסי יסודות קורט ואיזוטופים לאורך החתך בתצורת הלשון באיזור מצדה. הירידה העקבית ביחס Sr/Ca מעידה על מיהול האגם (מתוך Katz et al., 1977).



איור 12

הקשר בין היחס סידן/נתרן ו-C בלמינות ארגוניט בארבעה חתכים בתצורת הלשון (מתוך Katz et al., 1977).



איור 13

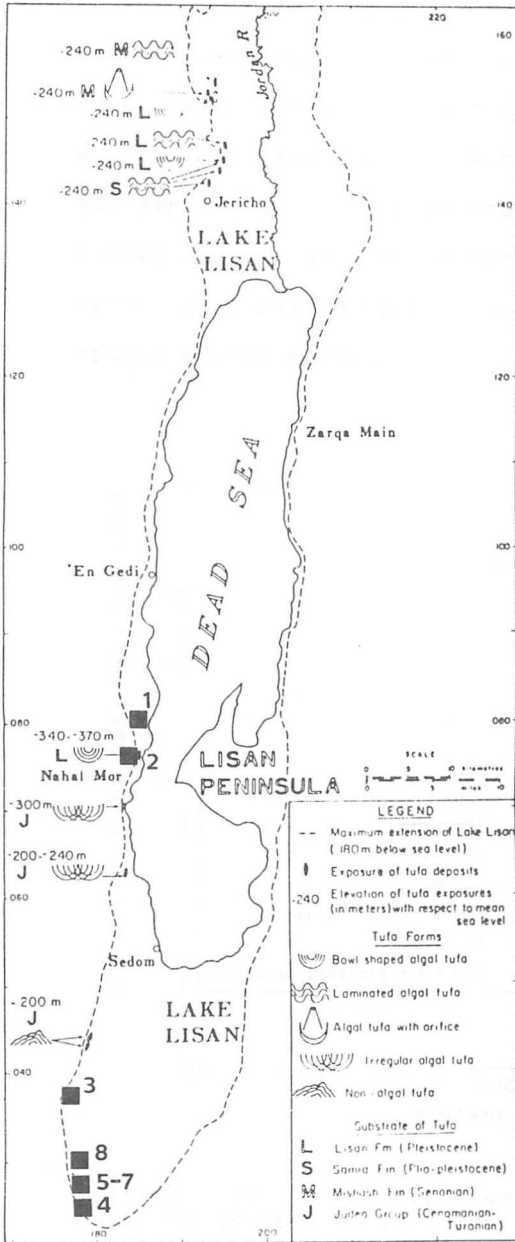
תפוצת  $\delta^{13}\text{C}$  ו- $\delta^{18}\text{O}$  בלמינות ארגוניט בתצורת הלשון. הפיזור רב יותר (לעבר ערכים נמוכים) של  $\delta^{13}\text{C}$  בכיוון צפון מצביע על מקור המים המתוקים העקרי בצפון האגם. הערכים הגבוהים של  $\delta^{18}\text{O}$  מעידים על התאדות נמרצת של מי אגם הלשון. (מתוך Katz et al., 1977).

תחנה מס' 2 - סטרומטוליטים דרומית לנחל רחף (נ.צ. 18540765)

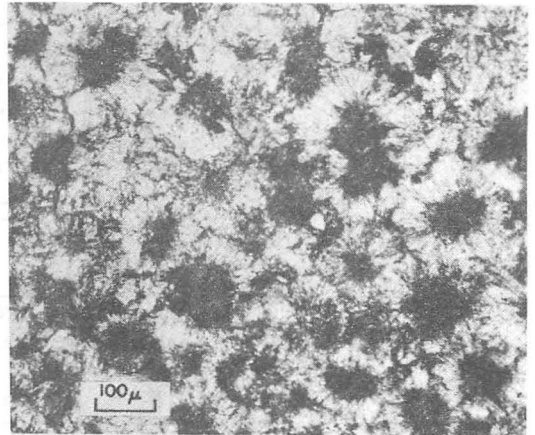
בתחנה זו נצפה במושבות גדולות של אצות (סטרומטוליטים) המונחות על תצורת הלשון ואשר כמותן נמצאו במקומות אחדים לאורך אגם הלשון (איורים 14, 15). אלה מבנים בנויים ארגוניט שגודלם בין כ-20 ס"מ לבין מטרים אחדים. המבנה האופיני הוא של שכבות קונצנטריות, הקעורות כלפי מעלה ויוצרות אגן, שהוא אופקי במרכזו ואילו בצידו נטויות השכבות ואף אנכיות. התנאים המעודדים יצירת סטרומטוליטים קעורים כלפי מעלה אינם ברורים, ובאגמים מודרניים יוצרות אצות בד"כ דווקא מבנים קמורים כלפי מעלה.

ניתן להבחין שני סוגי שכבתיות (Buchbinder et al., 1979 ו-1981 Buchbinder): למינות חלקות, דקות (1-3 מ"מ) או שכבות בעלות מבנה ספוגי בעובי 10-90 ס"מ. המבנה המיקרוסקופי של הלמינות החלקות הוא של מרקם צפוף של מחטי ארגוניט, עם חללים. השכבות בעלות המבנה הספוגי בנויות בעיקר מבנים כדוריים או אליפטיים בגודל 50-100 מיקרון, הבנויים מיקריט צפוף, ועטורים סיבי ארגוניט רדיאליים באורך 50-250 מיקרון (איור 16).

המבנה המיקרוסקופי הכדורי של הסטרומטוליטים מצביע על כך שהם נוצרו, כנראה, ע"י אצות קוקואידיות חד-תאיות שגרמו לשקיעת מחטי ארגוניט במבנה ספרואידי סביבם. הלמינות נוצרו כנראה ע"י אצות בעלות מבנה דמוי שערה (פילמנטים), שהדפוסים שלהם יצרו חללים במרקם מחטי הארגוניט הצפופים. סטרומטוליטים הנוצרים היום מאצות קוקואידיות תוארו באגם המלח הגדול ביוטה, ארה"ב, ושם הם נוצרים במים שמליחותם 19%-28%.



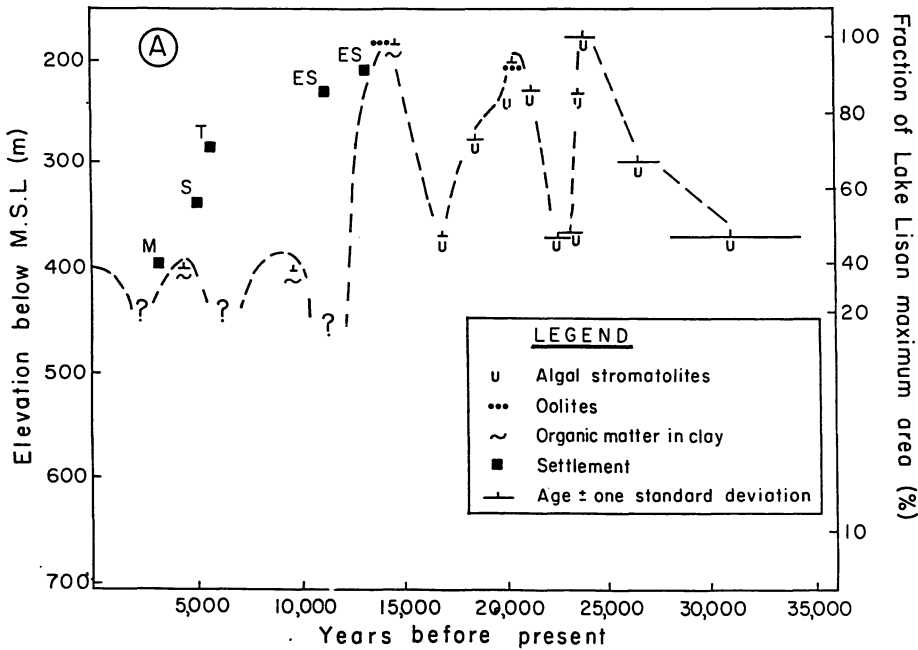
איור 15  
 סטרומטוליט שכבתי בדמות אגן, סמוך לשפך נחל מור, בגובה -370 מ'. מושבות אצות אלה משמשות מציינים לגובה מפלס אגם הלשון בקירוב טוב. (צולם ע"י ב. בוכבינדר, המכון הגיאולוגי.)



איור 16  
 המרקם המיקרוסקופי של סטרומטוליט מתצורת הלשון שמבנהו שכבתי-נקבובי. מיקריט כהה בצורה כדורית או אליפטית עטור במחטי ארגוניט רדאליות, היוצרות מרקם אופייני לאצות קוקואידיות, כחוליות-ירוקיות (מתוך Buchbinder, 1980).

איור 14  
 תפוצת הסטרומטוליטים לסוגיהם השונים בתצורת הלשון. רובם הם מושבות של אצות כחוליות-ירוקיות שנוצרו במים רדודים (מתוך Buchbinder et al., 1973). הריבועים מציינים את תחנות הסיור.

היות שהסטרומטוליטים נוצרו ע"י אצות, הזקוקות לאור לשם הטמעה, הם הורבדו במים רדודים מאד, וניתן להשתמש בהם למעקב אחרי שינויים במפלסי אגם הלשון. סטרומטוליטים אחרים תוארכו במקומות שונים לאורך אגם הלשון בשיטות פחמן-14 ואורניום-תוריום. התוצאות, המוצגות באיור 17, מצביעות על שינויים מהירים במפלס האגם, בקצב של כ-200 מ' ל-2000 שנה, שארעו פעמים אחדות ב-30,000 השנים האחרונות. שנויים דומים נמצאו באגמים במערב ארה"ב, בערך באותה רצועת קו רוחב, והם מבטאים שינויי אקלים.



איור 17

שינויים במפלס אגם הלשון עפ"י סטרומטוליטים ואואוליטים. הקווים האופקיים מציינים את גיל הסטרומטוליט. הריבועים מציינים ישובים: ES - סליבייה; T - תולילאת עסול; S - סאפי; M - מצד גוזל (עפ"י Begin et al., 1985).



תחנה מס' 3 - מניפת הסחף הקדומה של נחל צין (נ.צ. 1772/0370)

מניפת נחל צין הנוכחית מתחילה בהצטלבות כביש סדום-נאות הכיכר ומסתיימת קילומטרים אחדים מזרחה משם. במניפה (DAN, 1981) עוברים מאזור אבנוני וצרורות לאזור חולי עם מלחות (סולונצ'ק חולי) ולסולונצ'ק סייני שבחלקו התחתון מופיעות תופעות חיזור תחמוצת ברזל (גליי). בכיוון מזרח נעשים הסדימנטים דקים ומלוחים יותר עד לגליי סולונצ'ק סטרילי סייני חרסיתי. בפני השטח מתבטאים השינויים בבירור ע"י חיגור הצומח, הבולט מאוד בתצלומי אויר.

מניפת נחל צין הקשורה למפלס אגם הלשון מתחילה בנ.צ. 1772/0370. במחשוף הסמוך לכביש הערבה (תחנה 3א') מצויים סדימנטים שונים המבטאים תנודות במפלס אגם הלשון: רבדים חוליים, סייניים (האחרונים בעיקר עם תופעות גליי) וסייניים חרסיתיים עם תופעות גליי. תופעות גליי אלה דומות מאד לאלו שבמניפה הנוכחית של נחל צין. במורד המניפה (תחנה 3ב') קיים מעבר מסדימנטים אלו לחתך אופיני של תצורת הלשון ובמקום אחד ליד הכביש אפשר לראות שכבות דקות של תצורת הלשון בין הסדימנטים הקלסטיים.

השכבות בתחנה 3א' הורבדו בשולי אגם הלשון. בחלק העליון של החתך ניתן להבחין בסלעים שהורבדו בסביבת השקעה אלוביאלית שמתבטאת בחול או חול אבנוני (בצבע חום חורר מאד ביבש וחום צהוב ברטוב). מתחתם מצויות שכבות שהורבדו בסביבת השקעה ביצתית המתבטאת בעיקר בסיין חולי דק עד סיין חרסיתי סילטי (בצבע לבן ביבש ואפור בהיר ברטוב). שכבה זו עברה חיזור: הברזל נדד ממנה ושקע בין השכבות ובעיקר בשכבות ביניים חוליות דקות בהן האוורור היה טוב יותר.

בתחנה 3ב' (נ.צ. 1767/0369) מצויות שכבות שהורבדו בשפת האגם. השכבות האגמיות אופייניות לתצורת הלשון ואילו השכבות החרסיתיות המחוזרות שקעו בביצה ובמלחה בשולי האגם. בחתך זה לא ניכרות כמעט

שכבות אלוביות לא מחוזרות ונראה שהמקום תמיד היה בשולי האגם או בתוכו. החמצון המשני של שכבות הביניים של תצורת הלשון היה כנראה בתקופות בהן השטח התיבש זמנית.

תחנה מס' 4 - צפונית לחצבה (נ.צ. 1752/0263)

באזור זה מצויות סוללות הבנויות חלוקים וחול שנוצרו בסמוך לחופי אגם הלשון. ניתן לראות כאן תופעות גיאומורפיות שונות הקשורות להתפתחות השטח לאחר הוצרות הסוללות ונסיגת האגם: בשלב ראשון הן היוו סכרים שאחריהם הצטבר סחף סילטי. לאחר מכן הן הושפעו מסחיפה, בעיקר בסוללות הצפוניות, עקב ירידת מפלס האגם. סחיפה זו חתכה את הסוללה במקום מסוים עקב גלישת המים מעבר לסוללה בעת שטפון גדול. בהמשך נוצרו יובלים קטנים מעבר לסוללה במקביל לה, והם העמיקו את השטח שמאחורי הסוללה ויצרו שם ערוצים כאשר הסוללה האבנונית עצמה שמרה מסחיפה זו על הרצועה שבה היא מצויה. כתוצאה מזאת הובלט במשך הזמן ההבדל שבין הסוללה המורמת והשטח המבוטר שבין הסוללות. הסוללות בולטות מאד עד לגובה של כ-200 מ'. סוללות דומות מצויות גם בצפון ים המלח בין יריחו לקליה.

תחנות מס' 5-8 - נחל אמציהו

תחנה מס' 5 - (נ.צ. 1764/0273)

בשולי אגם הלשון נמצאו בתוך רבדים קונגלומרטים עדשות ושרטונות של אואוליטים מומסים בחלקם המלוכדים היטב בצמנט קלציטי, או דפוסי אואוליטים שהומסו. משולי האגם פנימה מופיעות עדשות של אואוליטים ארגוניטיים שלמים, בלתי מומסים ובלתי מלוכדים (Druckman et al., 1987) (איור 18).

ההמסה של האואוליטים הארגוניטיים ולכודם בקלציט בשולי האגם, התרחשה בסביבה פריאטית פעילה של מים מתוקים, אשר התקיימה בשולי אגם הלשון.

תצורת הלשון מונחת כאן על גבי תבליט ארוזיבי של תצורת חצבה. בגדה הצפונית של נחל אמציהו אופק מלוכד של אואוליטים מומסים (oomolds) מונח על גבי חרסית סילטית, המונחת ישירות על גבי תצורת חצבה. בגדה הדרומית מופיעים שלושה דרגשים מלוכדים, עם oomolds, וביניהם חרסית סילטית (איורים 19, 20).

תחנה מס' 6 - (נ.צ. 1767/0277)

כאן מצויים אופקי אואוליטים בחלופין עם קונגלומרטים המונחים על חרסית עם שרידים של שורשי צמחים. האואוליטים במחשוף זה הם מלוכדים ומומסים רק בחלקם. חלק מן האואוליטים שמרו על שלמותם ועל הארגוניט המקורי שלהם.

תחנה מס' 7 - (נ.צ. 1768/0278)

בבסיס החתך מופיעות חרסיות של שרידים מפוחמים של צמחים. מעליהם

אופק דק של ארגוניט למינרי וסטרומוטוליטים ומעליו אואוליטים ארגוניטיים בלתי מלוכדים. בגג החתך קונגלומרט בחילופין עם אופקי אואוליטים אשר הומסו רק בחלקם. המעבר מאואוליטים מלוכדים ומומסים לאואוליטים ששמרו על שלמותם ועל המינרלוגיה שלהם הוא על פני מרחק של כ-500 מ' בלבד.

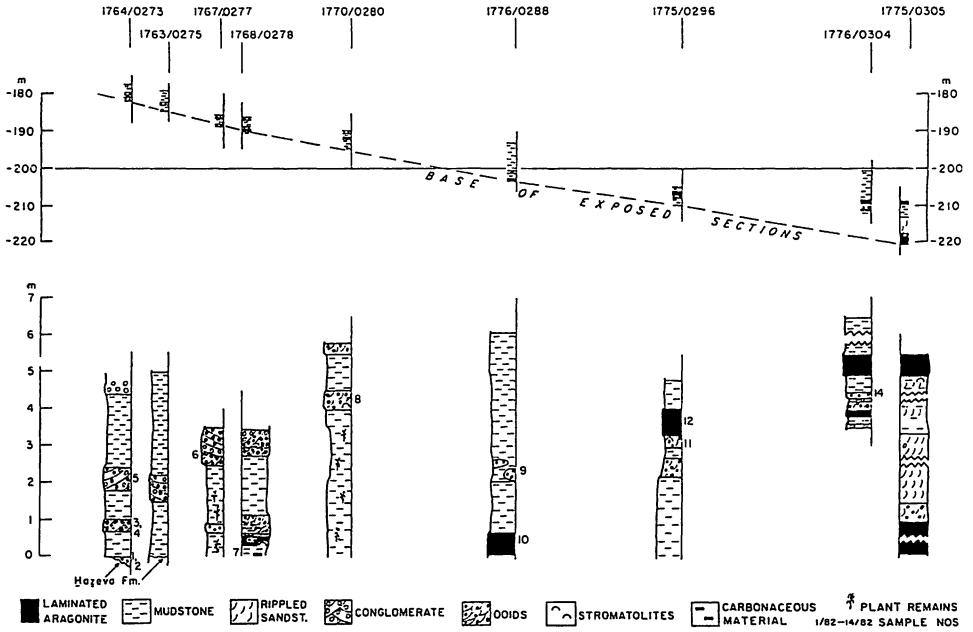
גיל של  $240 \pm 14600$  שנים שהתקבל מן החומר הצמחי המפוחם בבסיס החתך, מצוין עדיין שלב שבו מפלס האגם היה קרוב לגבהו המירבי (180- מ').

בהתחשב בעובדה שמעל האופק המתוארך מצויים כ-4 מ' של אואוליטים וסדימנטים אחרים, ניתן לשער שגיל יצירתם של האואוליטים אף צעיר מ-14,600, וכי האגם התקיים בגבהו המירבי גם מאוחר לזמן זה. לעומת זאת גיל הישוב הנאוליטי הקדום ביותר ביריחו, הנמצא בגובה 220- מ', הוא כ-10,000 שנים. מכאן שנסיגת אגם הלשון והתכווצותו למימדיו של ים המלח הנוכחי התרחשה אחרי 14,000 ולפני 10,000 שנים לפני ההווה. המסתם של האואוליטים התרחשה קודם לנסיגת האגם. יוצא איפוא שתהליך ההמסה של האואוליטים הארגוניטיים ולכודם עשוי היה להמשך לא יותר מ-3,000-2,000 שנים.

גוף המים המתוק בשולי האגם שגרם את המסת האואוליטים לא נדר עם נסיגת האגם, כפי שמוכח מאי המסתם של האואוליטים והלמינות הארגוניטיים בכיוון פנים האגם. תופעה זו מעידה על נסיגתו המהירה של אגם הלשון.

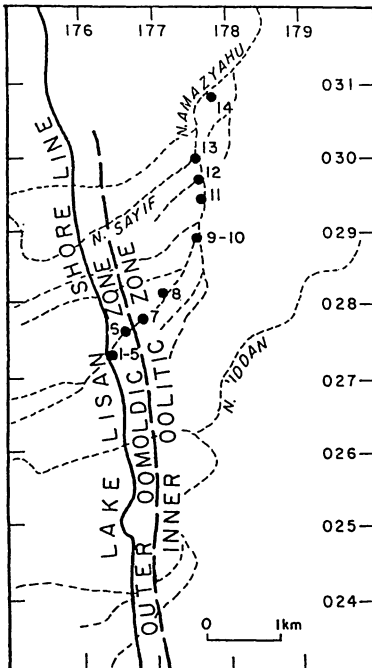
#### תחנה מס' 8 - (נ.צ. 1775/0296)

חילופין בין חרסיות עם שורשי צמחים לרבדים של אואוליטים ארגוניטיים בלתי מלוכדים וארגוניט למינרי. האואוליטים נשמרו בלתי ימסים ובמינרלוגיה ארגוניטית גם במחשוף זה, הנמצא הרחק משולי אגם, ומכאן שגוף המים המתוקים לא נדר עם האגם הנסוג (איור 20).



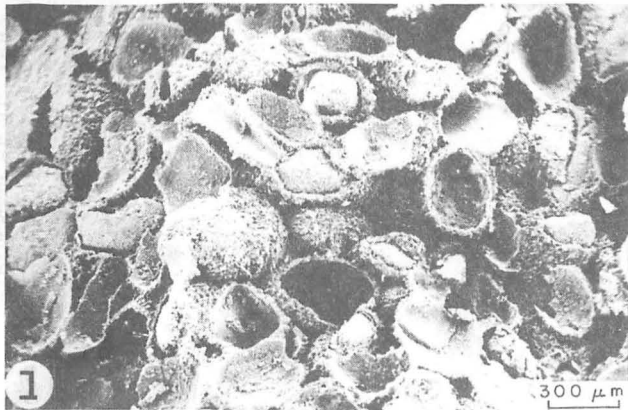
איור 18

חלקים עמודיים בתצורת הלשון בנחל אמציהו, משולי האגם פנימה (מתוך, Druckman et al., 1987).

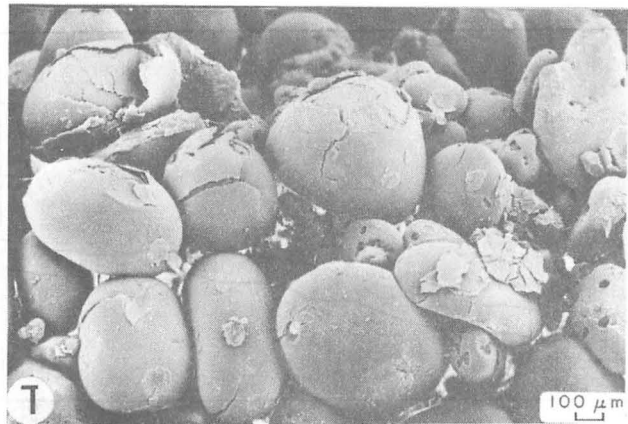


איור 19

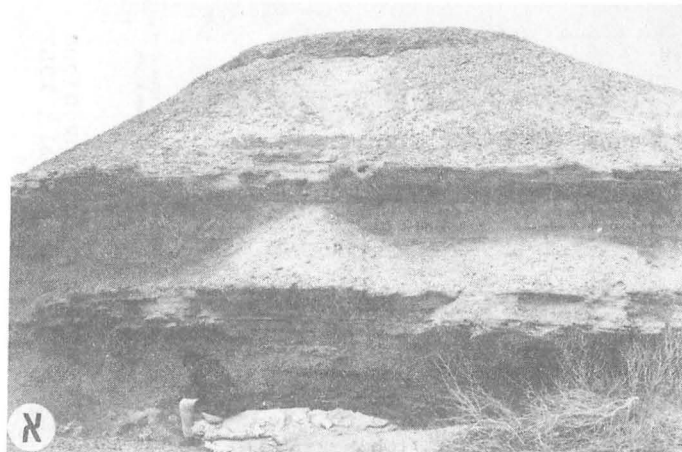
תפוצת הסביבות הדיאגנטיים בשולי אגם הלשון. רצועה שרוחבה כ-500 מ' בה הומסו ולוכדו האואוליטים הארגוניטיים בהשפעת מי תהום. מעבר לרצועה זו לכיוון פנים האגם נשתמרו האואוליטים שלמים ובנויים ארגוניט. (מתוך Druckman et al., 1987).



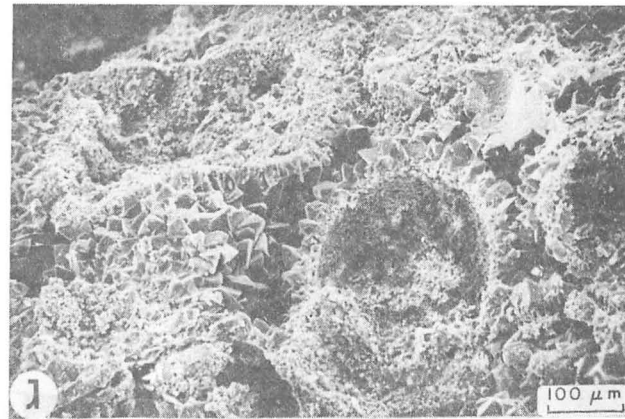
(ב) דוגמת סלע מלוכד היטב של oomolds, דוגמתו מופיעה ברצועה הדיאגנטית החיצונית. גרגרי קוארץ נראים בגלעיניהם של כמה מן האואיידים.



(ד) אואוליטים ארגוניטים בלתי מלוכדים. (תמונות ב, ג, ו-ד צולמו במיקרוסקופ אלקטרוני סורק; מתוך Druckman et al., 1987).



(א) תמונת מחשוף בכניסה לנחל אמציהו (נ.צ. 1764/0273) בה נראים שלושה דרגשים של אואוליטים מלוכדים ומומסים (oomolds).



(ג) צמנט איזופחי, רומבי סביב ה-oomold וצמנט ספרי הממלא חלק מן החללים הבין-גרגריים.

סיור מספר 4: הר גביס ומזרח שבר הרמון

עמיר אידלמן, החברה להגנת הטבע

יוסף ברטוב, המכון הגיאולוגי

מבוא

מטרת הסיור היא להכיר את הגיאולוגיה של השוליים המערביים של הערבה.

באיזור עין יהב ושל החלק המזרחי של הר הנגב (ציור 1), הכולל את קצהו המזרחי של שבר רמון ואת שבר מרזבה. בשטח הסיור חשופות שכבות למן בסיס חבורת יהודה מגיל קנומן באפיק נחל נקרות, ועד לקונגלומרטים צעירים מגיל פליוקן - פלייסטוקן ומשקעי מעיינות ונחלים רצנטיים (ציור 2) בשולי הערבה. איזור זה מאופיין על ידי האלמנטים הרגיונליים הבאים: (ציור 1,3)

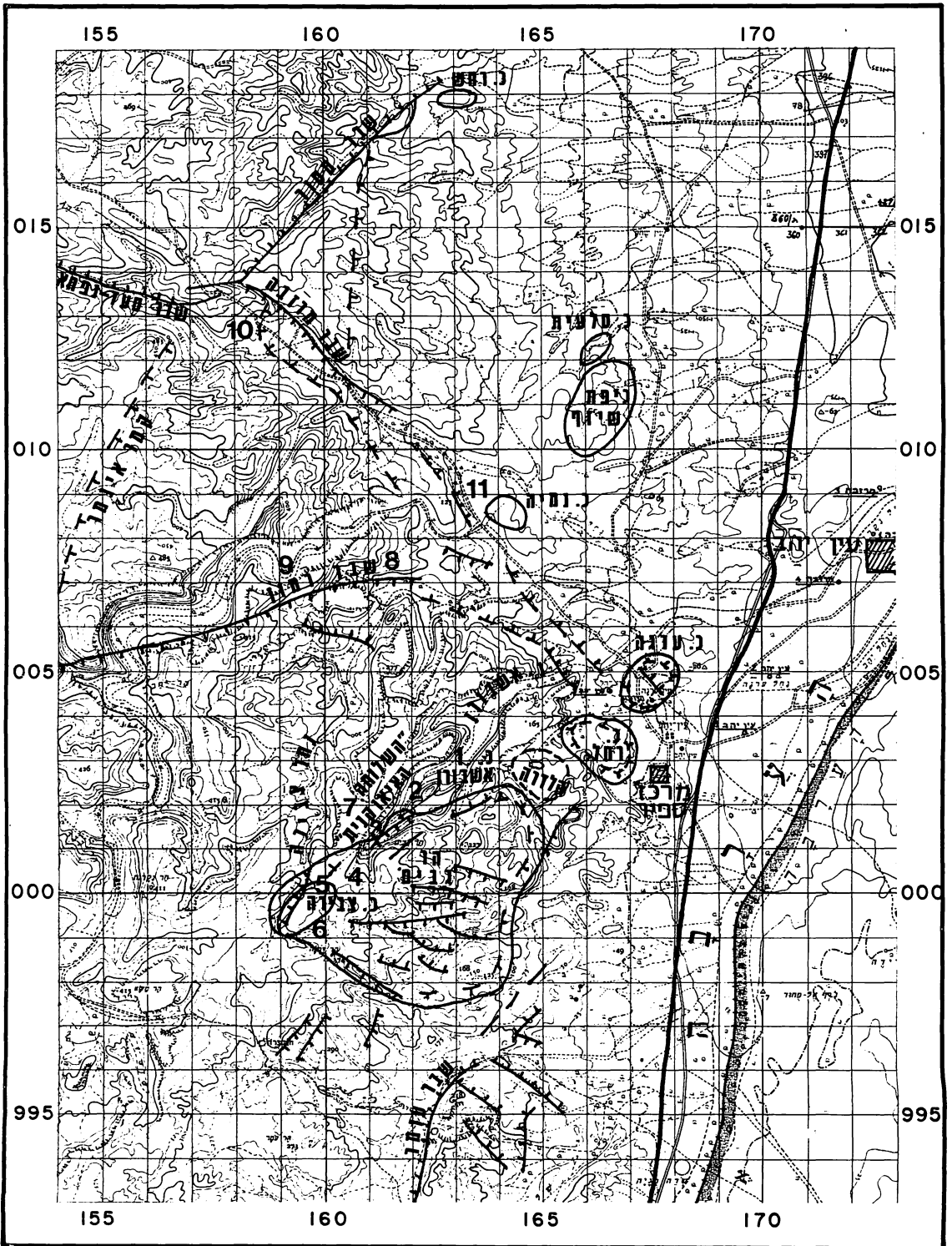
1. התשתפלות הסטרוקטורלית מאנטיקלינת אינמר לבקע.

נטיית השכבות אל עבר הבקע היא תופעה המצינת את השוליים המערביים שלו בין נחל צין לנחל פארן, וקיימת גם במספר מקומות נוספים, כדוגמת איזור אילת ובקעת הירדן. הפרש הגובה הסטרוקטורלי בין שיא קמר אינמר לשולי הבקע הוא כ-2,000 מ'.

2. רצועת הגזירה של הנגב-מרכז סיני

שלושה שברי רוחב הנמנים על רצועת הגזירה של הנגב-מרכז סיני עוברים באיזור (ציור 3) והם:

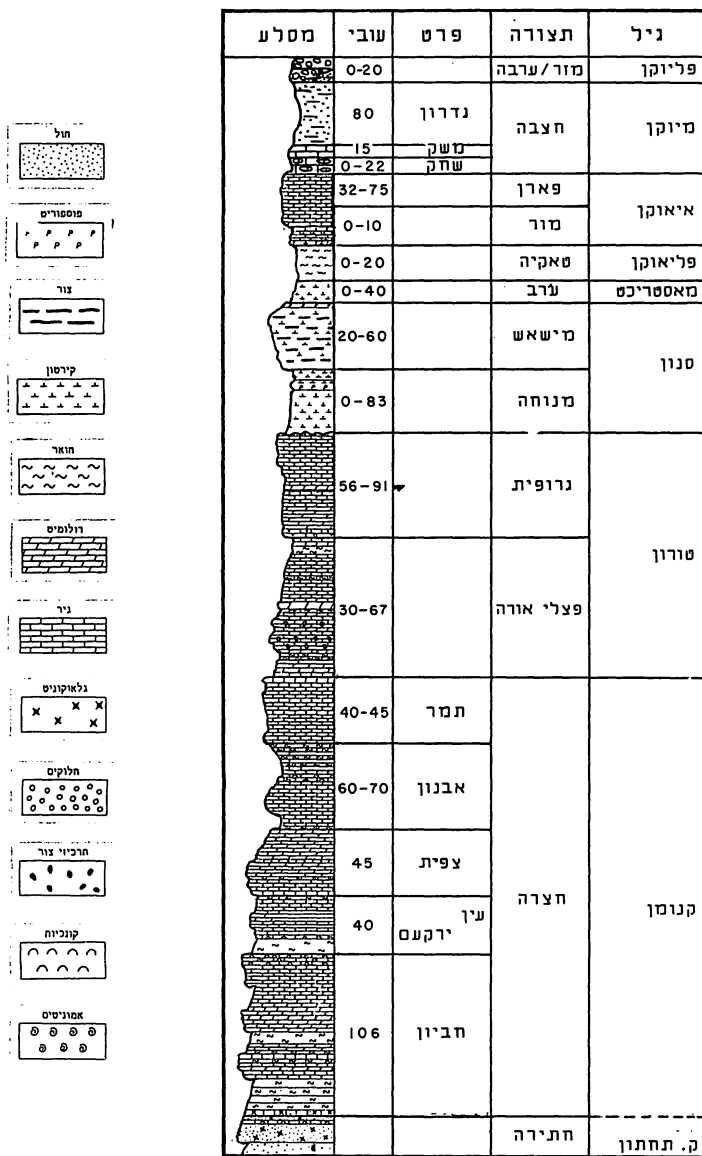
שבר הרמון, המשתרע מסיני מזרחה כשבר תזוזה אופקית ימני וחוצה את הנגב בחלקו הדרומי של מכתש רמון, אל עבר נחל נקרות. צפונה להר בדד, בנ.צ. 1495/0020, הוא נפרד מן המבנה האנטיקלינלי של אינמר הנמשך לצפון מזרח, ומגיע, כשמגמתו למזרח צפון מזרח עד לקרבת הערבה. המשכו מזרחה מקואורדינטה 161 אינו ברור כל צרכו, וייתכן שהמילוי הצעיר של נחל נקרות מכסה עליו. מאיזור נחל צבירה, במקום בו נפסקת רציפותו של שבר הרמון, מתחילה פלקטורה חריפה בסלעי חבורת עבדת שכיוונה לדרום מזרח, והיא נקראת בשם "הכפיפה של רמון-רחל", על שם שני המבנים שבקצותיה.



ציור 1. מפת איזור השיור. האלמנטים הטקטוניים העיקריים ותחנות השיור

(מסומנות במספרים).





ציור 2. חתך עמודי מוכלל באיזור הסיור. סטרטיגרפיה לפי:

Arkin et al. 1967; Bartov et al., 1972; Sneh, 1981.

אלרון 1980; אידלמן 1979;



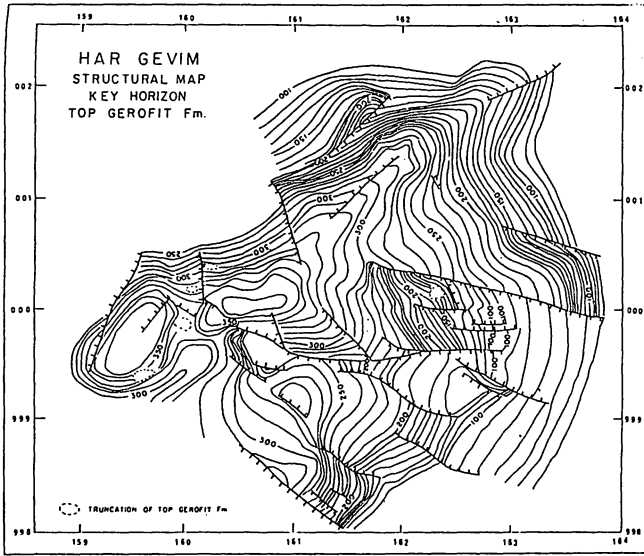
באשר לתקופת הפעילות על שבר רמון-אין בשטח הסיור עדויות ישירות המצביעות על פעילותו, למעט העובדה שהשבר מעתיק שכבות של חבורת עבדת פעילות פוסט מיוקנית שלו הוכחה במקומות אחרים (ברטוב, 1974).

למערכת הגזירה שייך גם שבר סעד-נפתא הנמשך מסיני עד לנחל מרזבה, בכיוון כללי מזרח-מערב, ויוצא אל הערבה בנחל מסור בכיוון צפון מזרח. בין שבר הרמון ושבר סעד-נפתא נמצא שבר מרזבה שכיוונו צפון מערב-דרום מזרח ואילו צמודה סינקלינה צרה שצירה מקביל לשבר. במבנה זה מצויים סלעי תצורת חצבה (פרט שחק) כשהם שבורים ומקומטים. בהנחה ששבר מרזבה הוא אלמנט טקטוני השייך למערכת הגזירה של מרכז סיני והנגב, ניתן לקבוע שגם באזור זה פעלה המערכת בתקופה מאוחרת להשקעת תצורת חצבה.

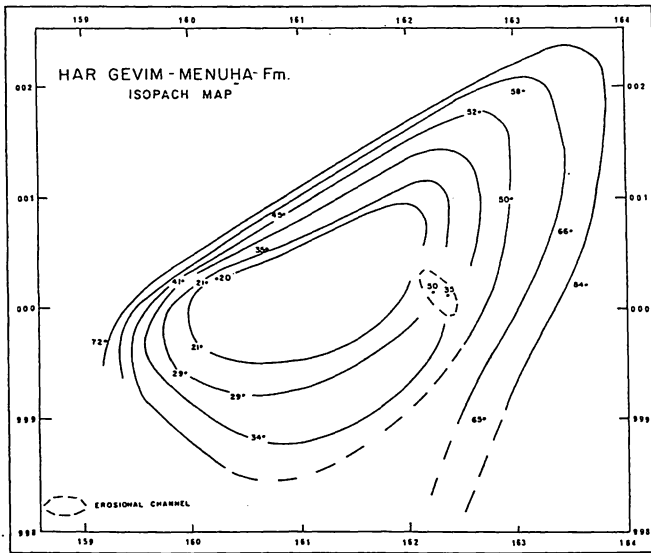
שבר שלישי השייך למערכת הגזירה של הנגב-מרכז סיני באזורנו הוא שבר עריף - בתור. כיוונו הכללי בתחומי הנגב הוא מערב דרום מערב-מזרח צפון מזרח. באזור מצד נקרות הוא מתחבר ע"י שבר מצד נקרות אל שבר רמון (ציור 3). מזרחה ממצד נקרות השבר אינו רצוף, והוא בנוי קטעים המסודרים EnecheIm (בר, 1981), ולאורכו קו של מבנים שונים ובהם סינקלינת הר משא, קערון צבירה, כיפת צבירה, וחצי כיפת נחל אשבורן, הר גבים, הקלדרה בנחל כרכשת, כיפת רחל וכיפת ערגה.

### 3. הר גבים.

הר גבים מהווה אלמנט בולט בשטח הסיור. הוא מבנה כיפתי מאורך, בממדים של 4x6 ק"מ, וצירו פונה לכיוון N50E (ציור 4). תשופות בו תצורות פצלי אורה, גרופית, מנוחה, מישש, ערב, טאקיה, חבורת עבדת ותצורת חצבה. הפעילות הטקטונית שהביאה ליצירתו, ואשר תועדה בשכבות התשופות המראות שינוי עובי ופציאס, החלה בשלבים האחרונים של השקעת תצורת גרופית (טורון עליון - קוניאק), ונמשכה בקצבים שונים עד לגמר הרבדת תצורת טאקיה. שלב נוסף בפעילות היה לאתר הרבדת פרט שחק (קונגלומרט הבסיס) של תצורת חצבה.



ציור 4. מפת סטרוקטורלית של הר גבים. אופק מנתה - גג תצורת גרופית.



ציור 5. איזופח תצורת מנתה באיזור הר גבים.

הפעילות הסנונית מוכחת כאן על ידי הצטמצמותן של תצורות מנוחה ומישש אל עבר מבנה הר גבים (ציור 5): בטרם החלה הרבדת תצורת מנוחה חל אירוע ארוזיבי אשר הביא, לפחות בשני מקומות בהר, לגדיעת חלקים (עד כדי 56 מ') של תצורת גרופית.

הפרט התחתון של תצורת מנוחה מילא את תבליט הנוף הארוזיבי. במהלך הסנטון - קמפן תחתון היתה אספקה גדולה של חרסיות דטריטיות אל סביבת שולי הר גבים, ובמשך הקמפן חלה הפרדה בסביבות ההשקעה בין החלק הגבוה של ההר, שם שקעה תצורת מישש בפציאס חרוז האנטיקלינלי, ולבין שוליו, שם מצוי פציאס עשוי הסינקלינלי (ציור 6). אזור המעבר מקיף את המבנה, ונחשף ברציפות ביובלי נחל צבירה ונחל אשבורן (ראה תחנה מס' 1, וציור 7). שינויי פציאס בולטים במיוחד נוצרו בחלק העליון ביותר של הקמפן: באזורים הנמוכים שקע פרט הפוספוריט הכלכלי, בעוד שבמעלה המבנה נוצר משטר השקעה חופי והורבדו הפוספוריט היבשתי והלטריט. חיגור סביבות ההשקעה סביב ההר מצביע על תנאי השיפה במרכז המבנה ועל קיום סבחות סביבו. תצורות ערב וטאקיה, וכן סלעים של חבורת עבדת, מילאו את התבליט סביב המבנה, ובשיאו מונחים סלעי חבורת עבדת על תצורת מישש ב-Onlap.

לאחר תקופת הניאוגן נוצרה הפלקסורה המזרחית של הר גבים, בה נטויים גם סלעים של תצורת הצבה, וכן מערכת השברים החוצה אותו (ציור 4). כאמור נמצא הר גבים בהמשכו המזרחי של קו עריף-בתור. לאורך קו זה נמצאו במספר מקומות עדויות לפעילות טקטונית סנונית (Bartov and Steinitz, 1983) עיקר התנועה על השבר היא פוסט-ניאוגנית, וכנראה שבתקופה זו הוא לא נמשך אל אזור הר גבים (המהווה את אחד המבנים הסנוניים שעל קו זה).

### מסלול הסיור

הסיור מתוכנן לנסיעה ברכב רב-מינוע ולהליכה ממושכת. הירידה לשטח היא מכביש הערבה לנחל נקרות, מול הכניסה למושב עין יהב. נסיעה בנחל נקרות עד דרך המעיינות, ומשם כניסה לנחל אשבורן ונסיעה עד לאזור נ.צ. 163/003.

תחנה מס' 1: שינויים בשכבות הפוספוריט של תצורת מישש ויחסם אל הקמטים בצור

במעלה נחל אשבורן, נ.צ.מ. 163/003, מצוי איזור המעבר (שרחבו 0.5 - 1 ק"מ), בין פציאס עשוש ופציאס חרוז של תצורת מישש.

ביחידת הצור העיקרי מתחלפות במורד המבנה שכבות של צור בהיר וכחה, גיר חום וגיר קירטוני לבן (ציור 7). בשיא הר גבים מצויות ביחידה זו שכבות צור הומוגני וברכואידי, עם שכבות ביניים של גיר ליתוגרפי, ובגגה עדשות ביוקלסטיות קטנות עם אוסטריאות, חלקן מרוסקות (ציור 8).

ביחידת הצור העליונה מוצאים שכבות של פוספוריט מצורר עם בולבוסי גיר, שכבות גיר ביוגני, ואת "הפוספוריט היבשתי". בשיא הר גבים מונחים סלעי חבורת עבדת באי התאמה אירוזיבית ישירות על גבי הצור העיקרי. "הפוספוריט היבשתי" מוכר באיזור זה (נ.צ. 1632/0029) בעובי של כ- 4.5 מ', והוא בנוי מסלעים פוספוריטיים ולטריטיים בצבעים מגוונים.

טיפוסי הסלע העיקריים הם (לפי נתן ושטר, 1977):

הפוספט התרכיזי: שכבות של תרכיזי פוספט חום בתוך תרסיות ברזליות אפורות אדמדמות. (עד 1.5 מ').

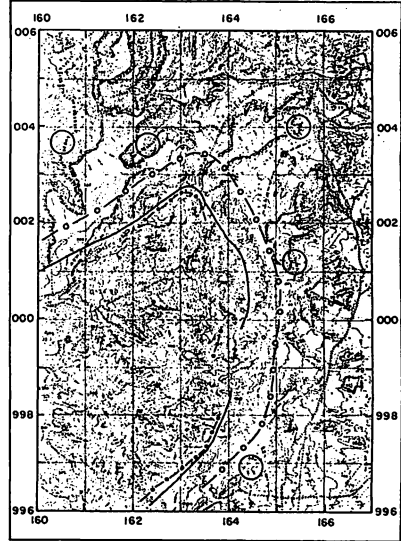
פוספוריט לטריטי: פוספוריט תרסיתי רך בצבע אדום. (עד 2 מ').

שכבות הג'רוזיט: שכבות בהרכב מינרלוגי מגוון, הכולל מינרלים של פוספט ברזלי, גבס, אנהידריט, פיריט, גהיט, נתרנג'רוזיט ועוד. צבע השכבה צהוב (עוביה עד 2 מ').

שכבות הלטריט: בנויות סלעים ברזליים קשים בעובי של עד 0.5 מ'.

בתחנה זו מקומטות שכבות הפוספוריט היבשתי יחד עם הקמטים בתצורת מישש (שטייניץ, 1974). מכאן שהקמוט מאוחר להרבדת הפוספוריט. מאידך אין תצורת ע'רב עוקבת אחרי הקמטים בתצורת מישש (ציור 9 ותצלום 9 א'). בנקודה זו הסיק שטייניץ שהקמטים נוצרו תחת עומס סדימנטים קטן יחסית.

- LEGEND**
- ○ — The boundary between the continental phosphorite and the "normal" phosphorite.
  - - - - - The boundary between the laterite and the continental phosphorite.
  - — — — — Zero isopach line of Ghoreb and Taqiye Fms.
  - Normal section of Mishash Fm.



ציר 6. תפוצת הפציאס בתצורת מישש באיזור הר גבים.

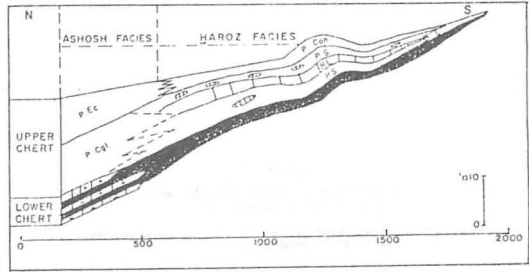
**COLUMNAR SECTION OF MISHASH FORMATION  
NAHAL ESHBOREN**

COORD 1632/0027

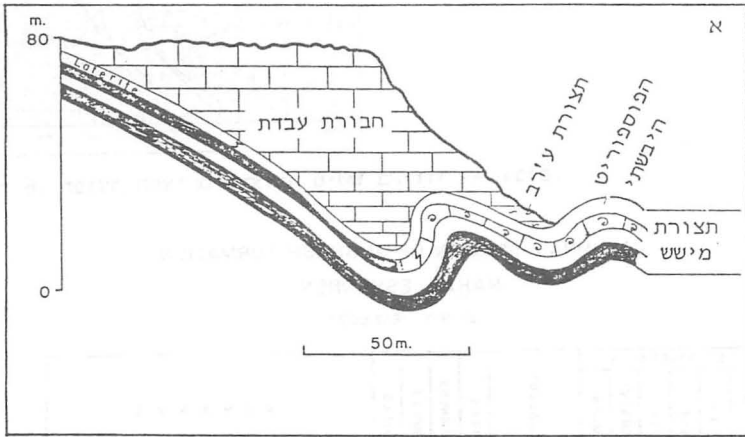
| STRATIGRAPHY     |           |              |         |           |             | LITHOLOGY | METERS | THICKNESS | SUBUNITS | SAMPLES | REMARKS  |
|------------------|-----------|--------------|---------|-----------|-------------|-----------|--------|-----------|----------|---------|--|
| SYSTEM           | SERIES    | STAGE        | GROUP   | FORMATION | MEMBER      |           |        |           |          |         |  |
| UPPER CRETACEOUS | Eocene    | Avedat       | Mishash | Mishash   | Lower chert |           | 40     |           |          |         | Chalky limestone, well bedded. Filling the "intraformational" synclines in the Mishash Fm.   |
| Senonian         | Campanian | Mount Scopus | Mishash | Mishash   | Upper chert |           | 30     |           |          |         | Continental phosphorite.<br>204 Bioclastic limestone with ( <i>Exileloceras unicolor</i> Levy) Hard phosphorite. Siliceous phosphorite. Limestone concretions (up to 60 cm.) silicified in places. |
| Santonian        |           |              |         |           |             |           | 20     |           |          |         | White chalk.   |
|                  |           |              |         |           |             |           | 10     |           |          |         |  |
|                  |           |              |         |           |             |           | 0      |           |          |         |  |

ציר 7. תוך תצורת מישש בנחל אשבורן.

- LEGEND**
- B.L. - Biogenic Limestone
  - P.S. - Silicified Phosphorite.
  - P.Ec - Economic Phosphorite.
  - P.Cgl - Phosphorite and Conglomerate Mbr.
  - Chart
  - L. - Laterite
  - P.Con. - Continental Phosphorite



ציור 8. שינויי פציאס בתצורת מישש, נחל אשבורן והר גבים.



ציור 9. א. חתך רוחב באזור הקמטים בנחל אשבורן. (נ.צ. 1632/0029).

ב. קמט בשכבות הפוספוריט.



תחנה מס' 2: הצטמצמויות בתצורות ע'רב וטאקיה במעלה הר גבים -

הליכה בנחל אשבורן.

באיזור הנמוך סטרוקטורלית, בקרבת מקום עצירת הרכב, מונחת תצורת ע'רב על גבי הפוספוריט של תצורת מישש. היא בנויה קירטון צהבהב ופצלים אפורים, ובבסיסה קירטון פוספטי. עם העליה במבנה מצטמצם עוביה של תצורת ע'רב, כמתואר בצירור 10.

תצורת טאקיה המונחת על גבי תצורת ע'רב במורד המבנה (בעובי מירבי של כ- 20 מ'), מצטמצמת לכיוון שיא המבנה, ויושבת ב- Onlap על תצורת מישש. היא נעלמת לגמרי בחלקו הגבוה ביותר (צירור 10, 11)

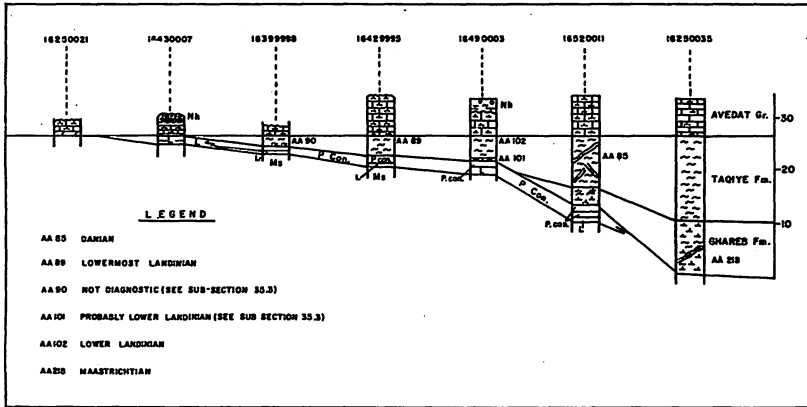
בקרבת מקום העלמה של תצורת טאקיה מוצאים בחלק התחתון של חבורת עבדת מרכיבים קלסטיים ובהם גרגירי גלאוקוניט, אואוליטים וליתוקלסטים.

תחנה מס' 3: חצי כיפת נחל אשבורן

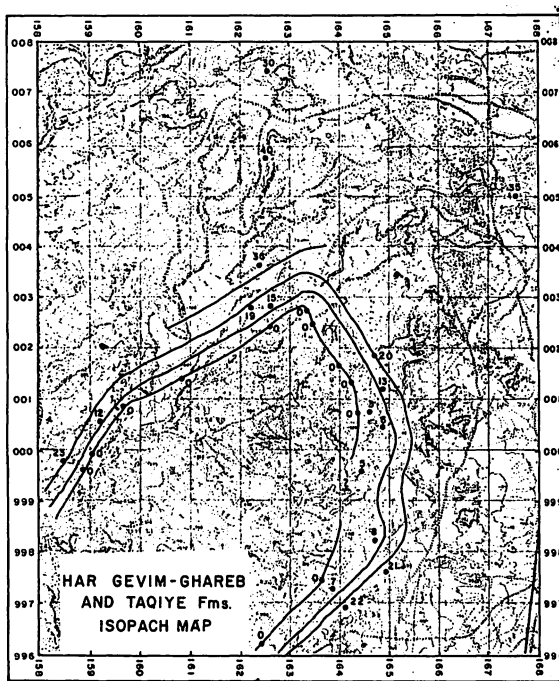
בנ.צ. 1618/0018 נמצאת חצי הכיפה של נחל אשבורן, שמידותיה 100 X 500 מ'. היא בנויה שכבות גיר של תצורת גרופית הנוטות למערב, לצפון מערב ולצפון, בנטיות של כ- 30 מעלות.

חצי הכיפה מוגבלת מדרום ע"י שבר הפוך שכיוונו N 42 W ונטיתו 75-70 מעלות (צירור 12, 13).

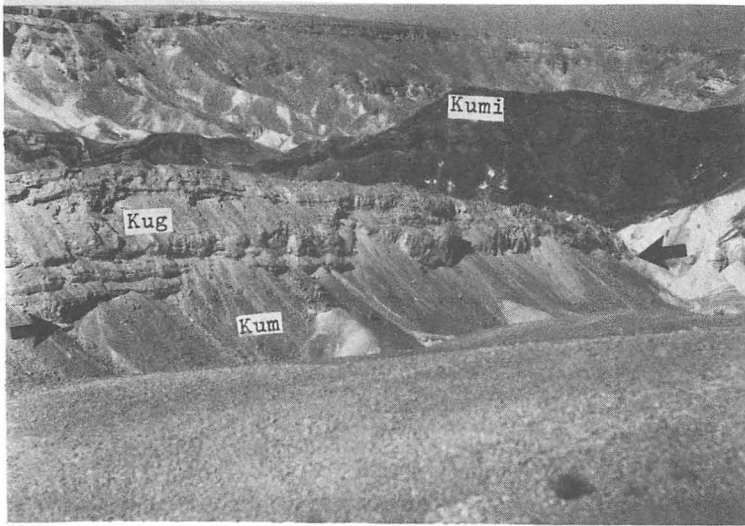
השבר המפריד בין המורד הצפוני של הר גבים ובין חצי הכיפה, מביא את הפרט החווארי של תצורת מנוחה אל מול חלקה התחתון של תצורת גרופית. (סה"כ זריקה אנכית מקסימלית של 80 מ'). אורכו כ- 600 מ', ועליו סימני גרירה אופקיים. השבר נעלם לכיוון דרום מזרח ולצפון מערב ואינו ניכר בסלעי תצורת מישש.



ציור 10. שינויים בתצורות ע'רב וטאקיה במעלה הר גבים.



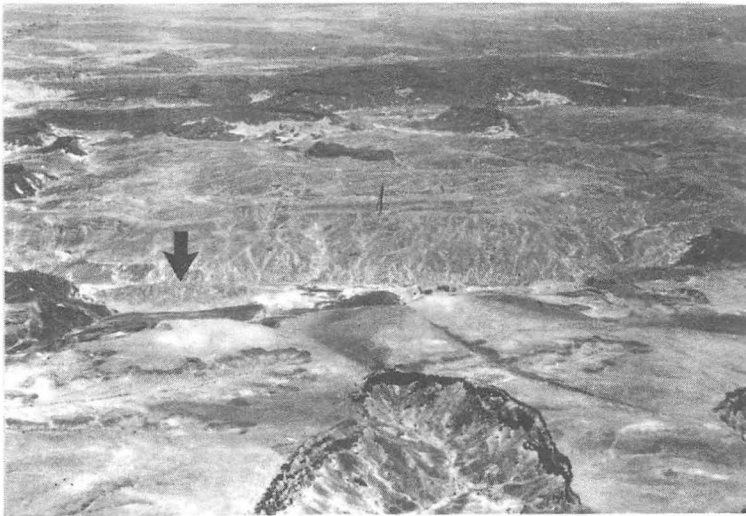
ציור 11. מפה איזופחית של תצורות ע'רב וטאקיה בהר גבים.



ציור 12. חצי הכיפה של נחל אשבורן. השבר ממוקם בחזית המצוק של תצורת

גרופית (מסומן בחץ). סימוני היחידות:

תצורת גרופית Kug, תצורת מנוחה Kum, תצורת מישש Kumi.



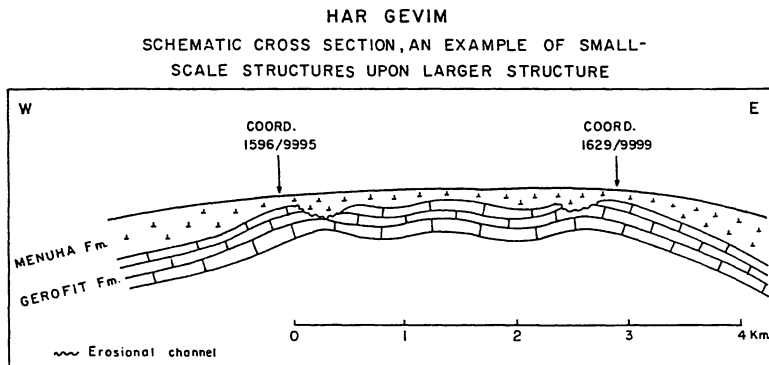
ציור 13. מבט אל איזור חצי הכיפה, השלוחה האיאווקנית ומורד הר גביס.

(החץ מסמן את חצי הכיפה).



תחנה מס' 4: גג חבורת יהודה במורד הר גבים.

חלקה העליון של תצורת גרופית בנוי שכבות גיר וגיר קירטוני היוצרים נוף של מדרגות. בשכבות אלה מוצאים גם נודולות של צור חום, ושכבות של סלעים ביוקלסטיים, מצוררים בחלקם. דרומה לאזור זה נבדקה תצורת גרופית, ונמצא גידוע של עד 50 מ' בצורה של תעלות ארוזיביות וערוצים. (ציור 14). הערוצים שנצפה בהם בנ.צ. 1602/0002, בולטים בנוף. במקומות רבים הם צרים ורוחבם כמה עשרות סנטימטרים, ובתוכם מונח גיר קירטוני של תצורת מנוחה. נראה שערוצים אלה עוקבים אחרי סדקים טקטוניים, ומבטאים את המורפולוגיה שנוצרה לפני השקעת תצורת מנוחה. מצויים כאן גם שינויים בהרכב הסלעים הבונים את גג תצורת גרופית: מעברים מסלעים בהם המאובנים שלמים לסלעים ביוקלסטיים עם מאובנים מרוסקים וגלאוקוניט. השינויים הם בעיקר בין המדרונות המזרחיים והצפוניים של הר גבים, והם מצביעים על קיום רליף סטרוקטורלי בסוף הטורון. (כאן פוגשים ברכב שעלה להר גבים בדרך מנחל נקרות לשלוחה האיאוקנית).



ציור 14. חתך רוחב סכמטי בהר גבים. התעלות הארוזיביות בגג תצורת גרופית ושינויי העובי של תצורת מנוחה.

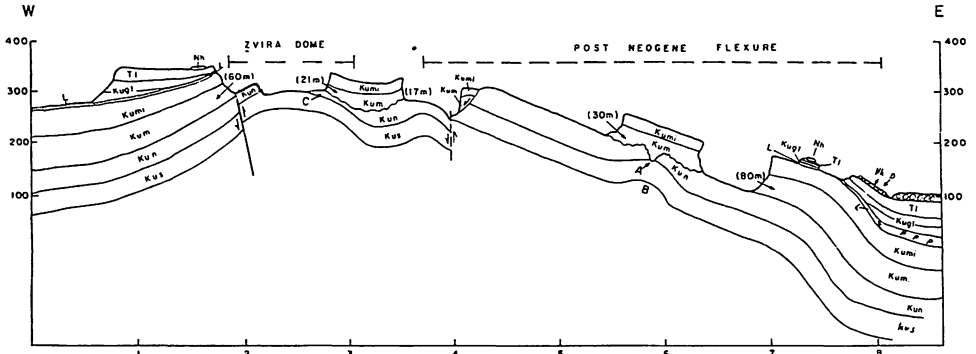
תחנה מס' 6: השבר המזרחי של כיפת צבירה.

כיפת צבירה (ציור 15) היא מבנה מאורך, על מדרונותיו המערביים של הר גבים ומרכזו בנ.צ. 1595/9995. צירה פונה לכיוון N35E, והיא מופרדת מהר גבים בסינקלינה. בבסיס החתך חשופות כאן שכבות של פצלי אורה, וסיומו בחבורת עבדת. לאורך הכיפה קיימת סדרת שברים המקבילים לציר והמתרפאים בצאתם מתחומי המבנה. השבר המזרחי ביותר של הכיפה (ציורים 4, 16) הוא שבר נורמלי הניכר לאורך כ-250 מ'. הזריקה המקסימלית שלו כ- 35 מ', והוא מעמיד סלעים של תצורת מישש אל מול סלעים של תצורת גרופית. לשבר שני מישורים: האחד נטוי בשיעור 28/340 והשני 54/280. בהנחה שכיוון התזוזה הוא לאורך קו החיתוך של המישורים, הרי שהתנועה כאן היא לאורך קו הנוטה 33/347, ומאחר וצד מזרח הוא הירוד, הרי שזהו שבר שמאלי.

הגיל הפוסט-איאוקני של השברים בכיפת צבירה, וההנחה שהשברים הם מגיל יצירת המבנה, מצביעים על כך שמבנה כיפת צבירה הוא מגיל פוסט-איאוקני.

תחנה מספר 7: שרידים של תצורת חצבה על "השלוחה האיאוקנית"

על גבי "השלוחה האיאוקנית" (ציור 13) מצויים מספר מחשופים של פרט שחק ("קונגלומרט הבסיס") של תצורת חצבה, בעובי מקסימלי של 2 מ'. הקונגלומרט מונח כאן אופקית, בגובה של כ-300 מטר מעל פני הים, ובהתאמה על גבי שכבות חבורת עבדת. הוא מלוכד גרוע, וחלוקי גיר, איאוקני או טורוני, מעוגלים או תת מעוגלים, וכך צור, אבן חול וקוורציט, שמוצאם ממנו, מפוזרים ע"פ השטח. המחשופים המבודדים של הקונגלומרט על גבי השלוחה הם שרידים של חתך עבה יותר שהוסר, ואשר הכיל כנראה גם חלקי חתך גבוהים יותר בתצורת חצבה. מחשופים אלה המצטרפים למחשופים רבים שנמצאו, מצביעים על כך שלתצורת חצבה היתה תפרוסת רחבה והיא כסתה שטחים נרחבים יותר מאלה בהם היא נמצאת היום, (ברטוב, 1974; זילברמן, 1979; אידלמן, 1979); הכוללים גם אזורים שהיו גבוהים סטרוקטורלית בעת השקעתה, כך שאין לראות במחשופים העכשוויים שלה את גבולות האפיקים העתיקים של תצורת חצבה.

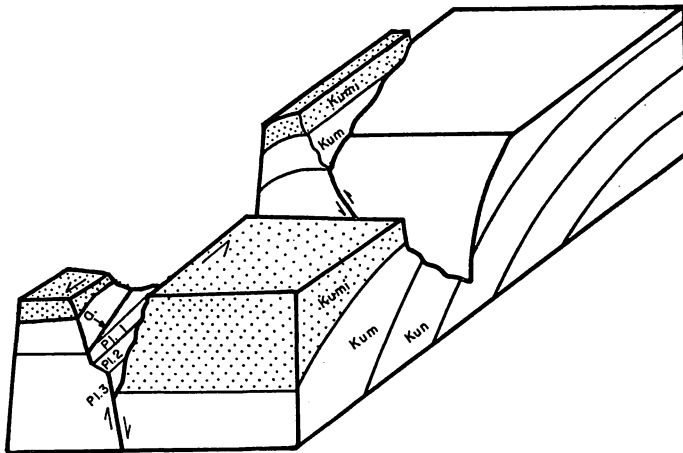


**LEGEND**

- (21m) THE THICKNESS OF MENUHA Fm.      C GEROFIT THICKNESS IS 20m
- A THE SENOHIAN EROSIONAL CHANNEL      D HAZEVA Cgl. IS TILTED
- B SMALL SCALED STRUCTURE              L LATERITE

ציור 15. חתך רוחב בכיפת צבירה ובפלקסורה הפוסט-נאוגנית במזרח הר גבים.

**ZVIRA DOME - NORTHERN FAULT  
SCHEMATIC BLOCK DIAGRAM**



ציור 16. השבר הצפוני בכיפת צבירה. - בלוק דיאגרם.

תחנה מס' 8: (אופציונלית) שבר רמון בנחל צבירה, הקצה המזרחי ביותר של שבר רמון נמצא בנחל צבירה, באזור נ.צ. 1592/0065. צפונה לו נראית פלקסורה הנוטה לדרום מזרח כ- 15-20 מעלות, והשבר עובר בקרבת הערוץ, בתוך סלעי תצורת גרופית. במעלה הנחל הוא עובר בתוך סלעי תצורת מישש, וזריקתו מטרים ספורים, ואילו מערבה מכאן הוא מביא שכבות של חבורת עבדת אל מול שכבות של תצורת מישש. ב.נ.צ. 1592/0065 שוב נמצאת בצדו הצפוני פלקסורה הנוטה לדרום-מזרח. (ציור 17) הפלקסורה חתוכה ע"י השבר המביא סלעים של תצורת מישש מול סלעים של גג תצורת גרופית.



ציור 17. שבר רמון בין נחל צבירה ונחל נקרות (מסומן בחץ). מצפון לו נראית כפיפה חזקה של סלעי תצורת גרופית. מעברו הצפוני של נחל נקרות חתך תצורת חצרה.



תחנה מס' 9: כניסה לנחל נקרות - שבר רמון.

בקטע שממערב למפגש עם נחל מרזבה, חשופות בנחל נקרות שכבות תצורת חצרה אשר מונחת על גבי אבני החול של תצורת חתירה (ראה ציור 3). בנ.צ. 158/006, במצוק המזרחי של הנחל, ניתן להבחין בשבר הרמון כשהוא בעל זריקה של כ-150 מ', והוא מביא את תצורת מישש מול גג תצורת חצרה (ציור 18).

גם בצד המערבי של הנחל, באיזור שפך נחל חולית לנחל נקרות, ניתן לראות את המשך השבר, אלא שכאן אזור ההפרעה המלווה את השבר רחב יותר. בקרבת הערוץ ניתן להבחין במספר גלישות גדולות של סלעי החלק הגבוה של תצורת חצרה על גבי שכבות חרסית של פרט חביון שבבסיסה. המיאנדרים הגדולים של נחל נקרות הם עקבות של צלקות שנוצרו על ידי גלישות אלה.



ציור 18. שבר רמון בנחל הנקרות (השבר מסומן בחץ).

תחנה מס' 10 - נחל מרזבה

הנסיעה במעלה נחל מרזבה, למן המפגש עם נחל נקרות ועד למעלה הדרך בנ.צ. 159/012, היא בתוך סינקלינה צרה שאורכה כ- 4 ק"מ וכיוונה הכללי לדרום-מזרח. בחלקה הצפוני חשופים סלעים של חבורת עבדת נטויים אל עבר ציר הסינקלינה וסלעי פרט שחק של תצורת חצבה מונחים עליהם בהתאמה. אזור זה זכה לכינוי "הבקעה הטקטונית של מרזבה" (בן-תור ופרומן, 1951). הסינקלינה מוגבלת בשבר רציף היוצר את המצוק בצדו המזרחי של הנחל. באגף המערבי, הנטוי לצפון מזרח, ישנם שברים בקטעים אחדים, והזריקות הסטרטיגרפיות עליהם קטנות לפיכך יש להתייחס למבנה כאן כאל מעין - גרבן. הבלוק הנטוי בקצה הצפוני של המבנה שבור, וסלעים של חבורת עבדת (תצורת פארן) ופרט שחק מונחים כנגד סלעי תצורת גרופית (זריקה של כ-150 מ'). יחסי השדה כאן מצביעים על שביחה המאוחרת להשקעת תצורת חצבה, וזאת בדומה ליחסים המוכרים באגן טרף ובאגן מתמל שלאורך שבר סעד - נפתא. בתצפית על שבר מרזבה (ראה גם ציור 19) נוכל גם לראות את הצטמצמותה של תצורת מנורה אל עבר המבנה של אינמר. עוביה כאן דק במיוחד, בין 0 ל-5 מ'.

בנ.צ. 1608/0114 הראה עמיר אייל שמישור השבר נוטה בכיוון 72/205, וסימני ההחלקה עליו נוטים ב 60 מעלות לדרום מערב על הקיר העלוי, כך שהמרכיב האופקי של התנועה הוא ימני.

תחנה מס' 11: תצורת מזר בנחל מרזבה.

מתשוף זה בנ.צ. 1634/0096 נתגלה ע"י עמיר אייל (1984) בעבודת המפוי שלו באזור. עובי החתך החשוף כאן הוא כ-6 מ', והוא בנוי מחילופין של חוואר אפור, עם חולות דקים בצבעים שונים המלוכדים בגיר. בשכבות החול מצויים כאן גלונים עדינים וכן מבני עומס במגע החול והחוואר. למתשוף זה אין בסיס חשוף, אולם

לכיוון דרום מזרח מונחות השכבות באי התאמה על גבי גירים של תצורת הצבה. במקומות אחרים באיזור מונחות שכבות אלה על גבי קונגלומרט הערבה וכן מתחת לשכבות שלו.

הגדרת המחשוף כתצורת מזר הפליוקנית מבוססת על קורלציה למחשופים אחרים בערבה (ברטוב, 1984), ועל הגדרת פאונה של *Cyprideis littoralis* במחשופים של נחל נקרות. היותו מונח על גבי המשכו של שבר מרזבה, מבלי שהוא מושפע על ידו, מהווה אינדיקציה לכך שלא נתקיימה פעילות טקטונית על שבר מרזבה בתקופה שאחרי השקעת תצורת מזר.



ציור 19. מבט אל הקצה הצפון מערבי של סיקלינת מרזבה.

סיור מספר 5. - טקטוניקה וסטרטיגרפיה (ניאוגן - קוורטר)  
של הערבה הצפונית; אזור חצבה

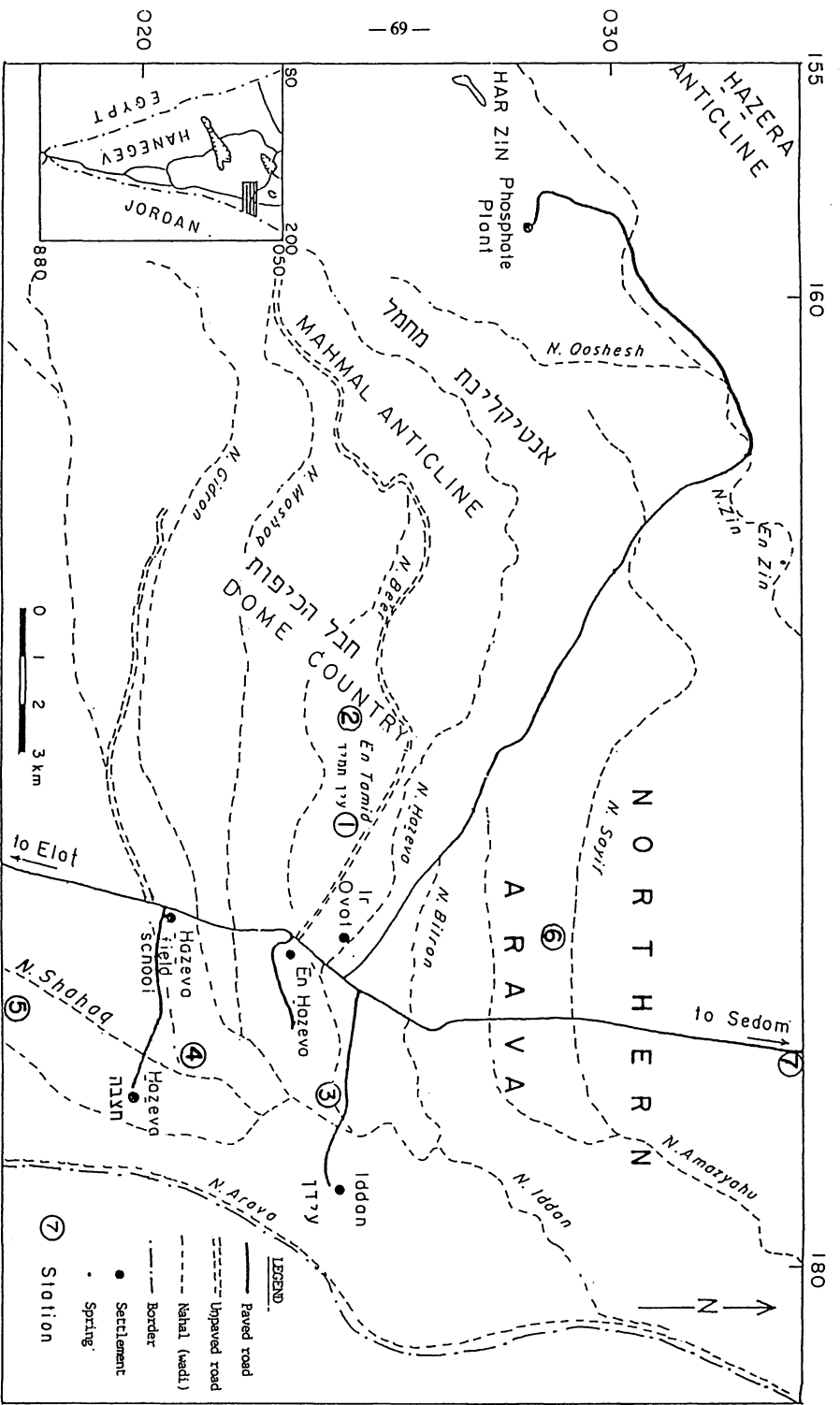
יוסף יחיאלי ועמיחי סנה - המכון הגיאולוגי, ירושלים.  
אלכס לבנת - החוג לגיאופיסיקה ולמדעים פלנטריים, אוני' תל-אביב.

מטרת הסיור:

- 1) הכרת החתך הסטרטיגרפי מתצורת חצבה ועד תצורת הלשון באזור הערבה הצפונית.
- 2) לימוד התפתחות כיפת עין תמיד שהינה חלק מחבל הכיפות.
- 3) לימוד היחסים הסטרטיגרפיים והטקטוניים בין התצורות סמרה והלשון באזור הבקע בערבה הצפונית.

השטח (ציור 1) נחלק לשלוש יחידות פיסיוגרפיות ברורות. במערב האזור - השטח ההררי של אנטיקלינת מחמל וכיפת עין תמיד. במרכז חשופה בעיקר תצורת חצבה, שצבעה האופיני אדמדם, והיא מכוסה ביחידות קונגלומרטים. השטח מישורי עם נחלים רחבים ומאופיין ע"י מספר מפלסים מורפולוגיים. במזרח מתגלים מחשופים של תצורות סמרה והלשון בגובה טופוגרפי עד 150 מ'. באזור זה, שאף הוא מישורי ברובו, נחתרו מספר קניונים עמוקים.

עיקר ההתייחסות בסיור הנוכחי תהיה לסלעים מתצורת חצבה וחבורת ים המלח. הסיור מתבסס ברובו על עבודתו של י. יחיאלי (1987) ועבודותיו של ע. סנה (1982, 1981, SNEH). מחשופי טרברטינים בנחל סייף נלמדו בפירוט ע"י א. לבנת (LIVNAT AND KRONFELD, 1985);  
(KRONFELD AND LIVNAT, 1987).



צירור 1. מפת אתר

### רקע סטרטיגרפי

רקע סטרטיגרפי כללי על התצורות העתיקות מתצורת חצבה ניתן בסיוור 4. תצורת חצבה. הפרט התחתון, פרט שחק, בנוי מקונגלומרט מלוכד היטב המורכב מחלוקי גיר וצור שמקורם מחבורות הר הצופים ועבות. מעליו מונח פרט משק הבנוי בעיקר מחוואר וגיר. הפרט העליון, פרט גדרון, בנוי מחילופין של חול וחרסית.

קונגלומרט הערבה ותצורת מזר. הובחנו שני פציאס של קונגלומרט הערבה: האחד באזור גבעות חצבה המורכב מחלוקים שמקורם מהסביבה הקרובה והשני באזור גבעות שיזף ובו נמצאו גם חלוקים מגמתיים. על מפלס קונגלומרט הערבה באזור גבעות חצבה נמצאו מספר מחשופים קטנים של תצורת מזר. בתוך תצורת מזר החווארית- גירית נמצאו מאובנים ימיים ברקיים. את תצורת מזר בחתכה הטיפוסי באזור נ. צין מאפיין בנוסף לפציאס החווארי גם פציאס חולי חרסיתי. פציאס זה לא הובחן בברור באזור חצבה. קיימת אפשרות שהמחשופים שנמצאו בנ. סייף בגובה 110- מ' (ראה תחנה מס' 6) ובנחל נקרות (נ.צ. 1672/0070) הבנויים מחילופין דקים של חול וחרסית שייכים למעשה לתצורת מזר. שני המחשופים שויכו לחבורת ים המלח ע"י SNEH (1982); המחשוף בנחל נקרות שויך לתצורת מזר ע"י אייל (1984).

מעל תצורת מזר מונחים קונגלומרטים צעירים שרובם נמצאים במפלסים טופוגרפים נמוכים יותר (Q1, Q2 - ציור 4).

תצורות סמרה והלשון. באזור המזרחי חשופות תצורות סמרה והלשון כשהן מונחות באי התאמה על תצורת חצבה. תצורת סמרה בנויה בחלקה התחתון מגיר המשוכב דק מאד - גיר פלטות, ובחלקה העליון מגיר אואוליטי. תצורת סמרה עתיקה מתצורת הלשון. במספר דוגמאות שתוארכו בשיטת אורניום- תוריום ע"י א. קאופמן ממכון ויצמן נמצא גיל התצורה עתיק מ-100,000 שנה. בדיקת גיל זו הינה ראשונית בלבד ודרושים נתונים נוספים כדי לבסס אותה. תצורת הלשון באזור חצבה בנויה ברובה מסלעים קלסטיים: קונגלומרט, חול, סילט וחרסית. ברוב החתכים קיימת

גם שכבה של ארגוניט למינרי, ובחלק העליון ביותר של חתך התצורה ישנו דרגש הבנוי מגיר אואוליטי.

### הארועים הגיאולוגים

אנטיקלינת מחמל החלה להיווצר בסוף הטורון העליון (בן- תור ופרומן, 1951, 1957). אולם עד הרבדת הפרט הפוספטי של תצורת מישש, בקמפן העליון, אין באזור חצבה פעילות טקטונית רבה. לאחר התקופה הימית, שבסופה הושקעה חבורת עבדת, החלה באזור תקופה יבשתית שמבשרה הראשון הוא פרט שחק של תצורת חצבה. קונגלומרט זה הושקע במניפות סחף בתוך אגמים מקומיים. הפרט האמצעי של תצורת חצבה הורבד במערכת האגמים הנרחבת שהתפתחה באזור. בזמן הרבדת החלק העליון, פרט גדרון, התקיים נוף של נחלים רחבים המובילים חולות וחרסיות מחוץ לסביבה הקרובה. כיוון ההובלה הכללי בזמן תצורת חצבה הוא למערב (סנה, בהכנה). החלק העליון ביותר של תצורת חצבה, המאופיין ע"י חלוקי "צור יבוא" ומופיע במקומות רבים בנגב, לא נמצא בערבה הצפונית, כנראה בגלל גידועו. לא נמצאו עדויות חותכות לקיום אגן בערבה הצפונית השוקע טקטונית בזמן הרבדת תצורת חצבה (לנתוני קידוח ערבה 1 ניתנו פרושים שונים והבעיה נשארת פתוחה).

בכיפת עין תמיד, ממזרח לאנטיקלינת מחמל, לא נמצאו עדויות לקימוט בזמן הרבדת תצורות מנוחה ומישש. פעילות טקטונית בזמן ההשקעה של תצורת חצבה הובחנה באזור חבל הכיפות. החלק הצפוני של כיפת עין תמיד התקמט במידת מה כבר לפני הרבדת תצורת חצבה (ציור 2), ובחלק הדרומי החל הקימוט לאחר הרבדת פרט משק. קימוט כיפת עין תמיד הסתיים, למעשה, לפני השקעת קונגלומרט הערבה ותצורת מזר.

הנחלים שהשקיעו את קונגלומרט הערבה זרמו לכיוון הערבה ובכך הם מצביעים על קיומו של שקע טקטוני באזור. קונגלומרט זה הורבד במניפות סחף גדולות. לאחר הרבדתו חדרה לאזור לשון ימית שהשקיעה את תצורת מזר. הפאונה שנמצאה בתצורה מזכירה אסוציאציה פאוניםטית דומה שנמצאה

בתצורת בירה בצפון עמק הירדן (ראה אצל SHAHAR ET AL, 1966). עם זאת לא ברור האם החדירה הימית הגיעה מדרום או מצפון. לאחר הנסיגה של הלשון הימית חוזרים ומשתלטים התנאים היבשתיים ושוקעים קונגלומרטים ע"י נחלים שזרמו לערבה וליים המלח תוך כדי יצירת מספר מפלסים. תנאים דומים לאלו שוררים למעשה עד היום. מאז נסיגתה של לשון ים מזר התקיימו בערבה הצפונית לפחות שני אגמים. האגם הקדום השקיע את תצורת סמרה והאגם המאוחר יותר השקיע את תצורת הלשון. אגם הלשון נסוג, בהשאירו מאחוריו שרידים המציינים קווי חוף. דוגמא לכך ניתן לראות בנחל אמציהו (נ.צ. 1755/0275), שם הובחנו שרטונות חופיים קונגלומרטיים על גג תצורת הלשון. הפעילות הטקטונית באזור הבקע ממשיכה עד לאחר השקעת תצורת סמרה ותצורת הלשון.

#### תחנות הסיור (1-7)

##### תחנה 1 - תצפית ממזרח על כיפת עין תמיד.

כיוון צירה של כיפת עין תמיד הינו מדרום מערב לצפון מזרח, בדומה לכיוון ציר אנטיקלינת מחמל. בכיפה עצמה נחשפים בעיקר סלעים מתצורת מישש ובשוליה סלעים מתצורות צעירות יותר: ע'רב, טקיה וחצבה. מצפון ניתן להבחין בתצורת חצבה, בעיקר בפרט העליון הבולט בצבעיו האדומים - פרט גדרון. פרט זה בנוי בעיקר מחילופין של אבן חול וחרסית. מעליו מונח באי התאמה קונגלומרט הערבה.

##### תחנה 2 - עין תמיד - השוליים המזרחיים של כיפת עין תמיד.

א) מבט צפונה מהגדה הדרומית של הנחל (ציור 2, תמונה 1). תצורת מישש נטויה לדרום מזרח בשיעור של כ- 10-8 מעלות, ומעליה מונחת תצורת חצבה באי התאמה זוויתית (נטויה כ- 5-4 מעלות). מעל תצורת חצבה מונח קונגלומרט הערבה ומעליו מחשוף בודד של תצורת מזר



ג) מבט כללי מראש הגבעה על כיפת עין תמיד ואזור הערבה, לכיוון דרום, ניתן לראות שוב את אי ההתאמה הזויתית בין תצורת מישש לתצורת חצבה.

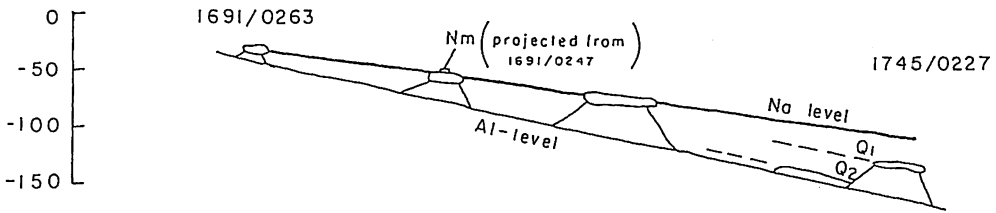
במבט לכיוון צפון מזרח רואים את המפלס הגבוה של קונגלומרט הערבה (מפלס גבעות חצבה, ציורים 4,5). מפלס זה מצויין ע"י מחשופי קונגלומרט בראש מספר גבעות משאר ונטיתו כ- 0.8 מעלות. מחשוף תצורת מזר מונח למעשה על קונגלומרט במפלס זה. יתכן כי חלק מהנטיה לכיוון הבקע הינו טקטוני אך קיימת גם האפשרות שהנטיה כולה מקורה בשפוע פלוביאטילי מקורי.

תחנה 3 - מפגש נ. חצבה עם נ. עידן - תצורות סמרה והלשון ויחסי השדה שביניהן.

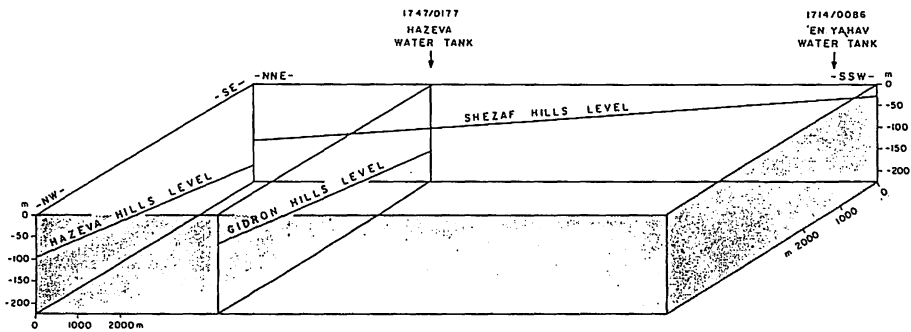
א) תצפית מגדת נ. חצבה - למערב מבחינים במחשופים של תצורת חצבה (פרט גדרון). לא נמצאו מחשופים של תצורת חצבה ממזרח לקו האורך 177, דבר המרמז על קיום קו שבר בתת הקרקע כפי שנרמז במספר עבודות גיאופיזיות (MAY, 1968).

במבט לדרום מזרח ניתן להבחין בתצורת סמרה נטוייה מזרחה לכיוון הבקע ומעליה באי התאמה זויתית תצורת הלשון.

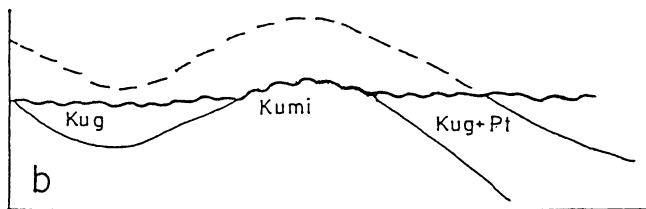
ב) אזור קו השבר (ציור 6) - במקום זה ניתן לראות את תצורת סמרה (תמונה 3). החלק התחתון של התצורה מורכב מגיר המשוכב דק מאד - גיר פלטות, בחילופין עם שכבות הרסיתיות רבות. במקומות ישנו שיכוב גלי האופיני לסטרומטוליטים. החלק העליון מורכב מגיר אואוליטים. תצורת סמרה מונחת ממערב לשבר על שכבה של חול עם חצץ המכסה את תצורת חצבה. בצד המזרחי, שהוא הצד הירוד, לא חשופה תצורת חצבה אלא רק החלק התחתון של תצורת סמרה - גיר הפלטות. כמות הזריקה של השבר הינה כנראה כ- 8 מ'. בצד המזרחי, מעל תצורת סמרה, מונחת תצורת הלשון.



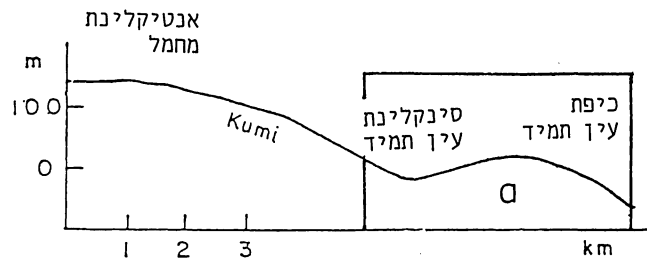
ציור 4. מפלסים של טרסות קונגלומרטיות.  
 Na - מפלס קונגלומרט הערבה בגבעות חצבה  
 Q1, Q2 - מפלסים של קונגלומרטים צעירים  
 AL - מפלס הזרימה הנוכחי



ציור 5. מפלסים של קונגלומרט הערבה. המפלס של גבעות שיזף הינו הגבוה ביותר

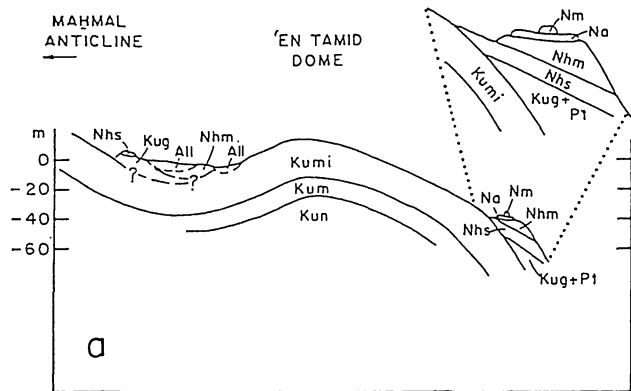


צפון כיפת עין תמיד בתחילת הרבדת תצורת חצבה



אנטיקלינת מחמל וכיפת עין תמיד

— 75 —



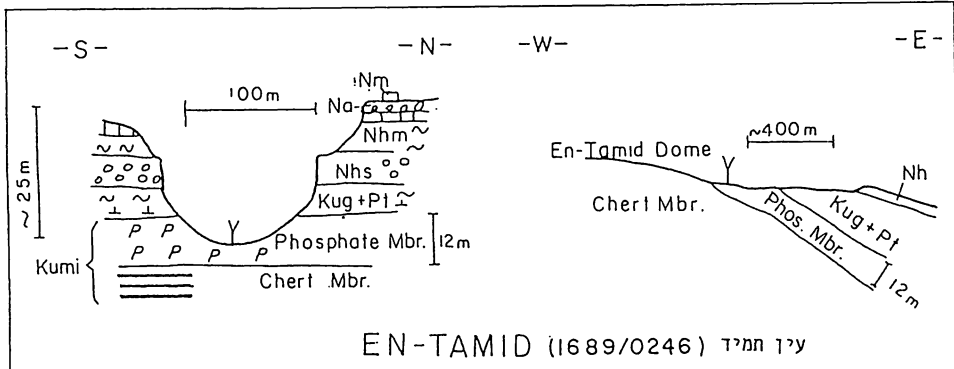
חתך רוחב סכימתי בצפון כיפת עין תמיד

|                                |      |             |              |
|--------------------------------|------|-------------|--------------|
| Quaternary, Alluvium           | All  | אלוביוס     |              |
| Mazar Fm.                      | Nn   | תצורת מזר   |              |
| Árava Conglomerate             | Na   | קונג' הערבה |              |
| Gidron Member                  | Nnq  | פרט גידרון  | } תצורת חצבה |
| Mashaq Member                  | Nhsm | פרט משק     |              |
| Shahaq Member                  | Nhs  | פרט שחק     |              |
| Ávedat Group—Mor and Paran Fm. | Emp  | חבורת עבדת  |              |
| Chareb Fm.                     | Kug  | תצורת ע'רב  |              |
| Taqiye Fm.                     | Pt   | תצורת טקיה  |              |
| Mishash Fm.                    | Kuml | תצורת מישש  |              |
| Menuha Fm.                     | Kum  | תצורת מנוחה |              |
| Nezer Fm.                      | Kun  | תצורת נצר   |              |

ציור 2. חתך רוחב סכימתי בצפון כיפת עין תמיד.

(תמונה 2). שני האחרונים מכסים על תצורת חצבה באי התאמה ונטייתם קרובה לאופקית.

עין תמיד נובע מהפרט הפוספטי של תצורת מישש (ציור 3). מליחות הכללית (TDS) היא כ- 3000 מ"ג/ל'.

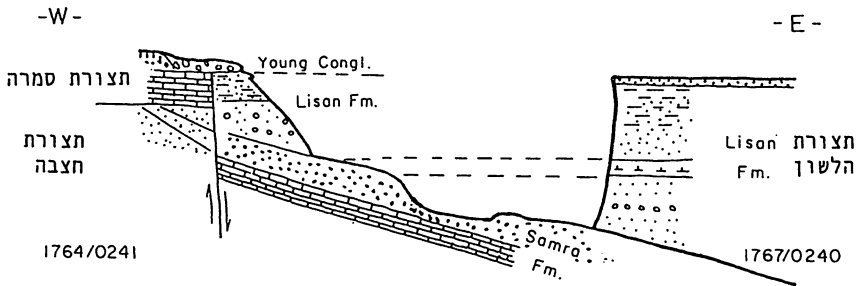


עין תמיד (1689/0246) EN-TAMID

ציור 3. חתכים סכימטיים באזור המעין עין תמיד.

(ב) הגדה הצפונית - מצפון למעין עין תמיד, בטיפוס על הגבעה בגדה הצפונית, רואים את הפרטים השונים של החתך של תצורת חצבה. בבסיסו חשוף פרט שחק שבמקום זה ניתן להבחין בתוכו במספר שכבות. החלק התחתון, היוצר מצוק בעובי של כ- 3-4 מ', בנוי בעיקר מגיר עם חלוקים גדולים צפים בתוכו; מעליו שכבה בעובי 0.8 מ' שבה חלוקים קטנים יותר (בד"כ בקוטר עד 5 ס"מ) והליכוד רופף ומורכב בעיקרו מחומר חווארי אפור צהבהב, ושכבה נוספת בעובי כ- 1.5 מ' של קונגלומרט שליכודו טוב יותר. מעל פרט שחק מונח פרט משק. חלקו התחתון בנוי בעיקרו מחוואר וחלקו העליון בנוי בעיקר מיחידות גיריות. הפרט העליון של תצורת חצבה, פרט גדרון, גדוע. מעל תצורת חצבה מונח באי התאמה קונגלומרט הערבה המלוכד היטב, אם כי פחות טוב מקונגלומרט שחק. במטריכס נפוצים גרגרי חול קוורץ; הליכוד קלציטי. מעל קונגלומרט הערבה נמצא מחשוף קטן של תצורת מזר הבנויה מסלע חווארי-גירי.

נראה כי גם תצורת הלשון השתתפה בשבירה, אך קיימת גם האפשרות שתצורת הלשון שקעה ליד קיר שבר עתיק ולא השתתפה בשבירה.



ציור 6. יחסי שדה בין תצורת סמרה והלשון, בנחל חצבה. קיימת אי התאמה בין תצורת סמרה שנטיחה כ-4 מעלות לבין תצורת הלשון שנטיחה פחות מ-1 מעלה. השבר פועל בכרוך על תצורת סמרה וכנראה, במידה מסוימת, גם על תצורת הלשון.

ג) תצורת סמרה - לאורך נ. חצבה החלק העליון של תצורת סמרה בנוי ברובו מגיר אואוליטים, לעיתים מופיעים גם גרגרי קוורץ ושברי צור. האואוליטים עצמם עברו תהליך המסה וליכוד מחדש, ולכן ניתן לראות בסלע רק את התבניות (OOMOLDS) של האואוליטים. בתוך חלק זה של החתך ניתן להבחין בשכוב צולב. לאורך הנחל ניתן לראות מספר שברונים, בהם הצד המזרחי בד"כ ירוד.

ד) החלק העליון של תצורת הלשון - בנחל חצבה - באזור זה בנוי הדרגש העליון של תצורת הלשון מגיר אואוליטי. רוב האואוליטים הומסו והסלע לוכד; הרכבו קלציט. במרחק כ- 100 מ' מזרחה הדרגש בנוי מהאואוליטים עצמם, המורכבים ארגוניט. המטריכס אף הוא ארגוניט, ובמקומות הוחלף בחלקו לקלציט. תהליך החלפה זה נעשה כנראה במגע עם מי תהום באזור החוף לפני פחות מ- 14,000 שנה (DRUCKMAN ET AL. 1987). מזרחית לכאן, בנ. עידן, הדרגש עובר שנוי פציאלי לסלע המורכב מארגוניט למינרי (האופק המציין של בן- תור ופרומן, 1957).

ה) מבט על הקיר הדרומי של נ. חצבה. השכבה הארגונית באמצע החתך נגדעה ע"י תעלה שמולאה מאוחר יותר בחול. החתך של תצורת הלשון הינו ברובו המוחלט קלסטי.

תחנה 4 - יחסי שדה ארוזיביים בין תצורות חצבה, סמרה והלשון;  
נחל שחק (ציור 7).

ניתן להבחין בחתך האופיני של תצורת סמרה: גיר הפלטות בחלק התחתון ודרגש אואוליטי מעל. תצורת סמרה הורבדה במפרץ שנחתר בתוך תצורת חצבה. מאוחר יותר הורבד החלק העליון של תצורת הלשון, במפרץ שנחתר בין תצורת חצבה ותצורת סמרה (ציור 7).



ציור 7. יחסי שדה ארוזיביים בין תצורות חצבה, סמרה והלשון; נחל שחק. תצורת סמרה הושקעה בתוך מפרץ שנחתר בתצורת חצבה. תצורת הלשון הורבדה בתוך מפרץ שנחתר בין תצורת חצבה לסמרה.

בקרבת מקום ישנן "חצרות" של גיר טופה אשר מיקומו הסטרטיגרפי אינו ברור. המחשופים של תצורת הלשון נמצאו עד גובה 150- מ'; הרכבם בעיקר קלסטים דקים - סילט וחרסיות. סלעים ממקור אגמי ברור - גיר אואוליטים - נמצאו בגובה עד 165- מ'. את הסיבה למיקומם הגבוה היוצא דופן של המחשופים ניתן להסביר בטקטוניקה מקומית שגרמה להתרוממות החלק הדרומי של אגם הלשון. לחילופין, יתכן שאגם הלשון אכן הגיע בשלביו האחרונים לגובה מעל 180- מ' שהוא הגובה המירבי המקובל.

אפשרות זו מעוררת שאלות בדבר הסיבות לאי מציאותם של מחשופים בגובה דומה במקומות אחרים מצפון לחצבה.

תחנה 5 - גבעת הבריכה של מושב חצבה (נ.צ. 1747/0176)  
קונגלומרט הערבה. בגבעה זו מונח קונגלומרט הערבה מעל פרט גדרון של תצורת חצבה. הקונגלומרט נמצא במפלס העליון ביותר בשטח - מפלס גבעות שיזף (ציור 5): קונגלומרט זה שונה מזה של גבעות חצבה בעיקר בכך שהוא מכיל חלוקים מגמתיים כמו בזלת, גרניט וקוורץ פורפיר. העובדה שהמפלס כאן גבוה יותר מרמזת על כך שהוא עתיק יותר. השוני הליתולוגי יכול להיות מוסבר ע"י אגני ניקוז נפרדים ומקור הספקה שונה של החומר.

תחנה 6 - טרוורטינים - נחל סייף  
באזור שבין נחל סייף לנחל אמציהו העליון מצויים מספר מחשופים של יחידות אגמיות ומשקעי מעיינות.  
בגדה הצפונית של נחל סייף (נ.צ. 1733/0283, גובה 110- מ'), מצוי מחשוף המורכב משכבות חואר בחלופין עם שכבות דקות של אבן חול דקת גרגר, עם סטרוקטורות של שכוב צולב משיקי בקנה מידה קטן וסטרוקטורות תעוקה. עביו הכולל של המחשוף כ- 1.4 מ', בסיסו אינו חשוף וגבו עובר בחדות לאופק של קונגלומרט המורכב מגריט עם חלוקים תת-מעוגלים, מלוכדים בקלציט. סטרוקטורות ריעוף (אימבריקציה) בקונגלומרט מעידות על כיוון זרימה הדומה לזה הנוכחי (לכיוון הערבה).

מדרום לנחל סייף (נ.צ.מ. 1729/0282), באזור המאופיין גם כיום במי תהום גבוהים (כפי שמעידים צומח הידרופילי וקרומי גבס) משתרעים, לאורך כמה מאות מטרים, דרגשים של טרברטין. הטרברטין מונח באי התאמה אירוזיבית על גבי אבני חול, סילט וגיר (כנראה של תצורת חצבה). מובחנים לפחות שלושה דרגשים בעובי כולל של כ-3 מ', המופרדים זה מזה

על ידי אופקי חואר דקים. אלה האחרונים מתייתדים על פני מרחק קצר. השכוב ניכר גם בקנה מידה מיקרוסקופי, ומתבטא בחלופין ורטיקליים בין מיקרופציאס של קלציסילטיט וקלצירודיט. הטרברטין מכיל מספר אחוזים של דטריטוס קוורצי וצורני, בגודל של סילט עד גריט. הליתוקלסטים מורכבים מקרבונט מיקריטי, הומוגני. טכסטורות מיקרופלורליות (מרבדי אצות כחוליות-ירוקיות או מושבות של קוקואידים בודדים), שהן מרכיב מיקרופציאלי נפוץ ברבים ממחשופי הטרברטין האחרים בשולי הערבה, כמעט ואינן מופיעות כאן. נראה שהמיקרופציאס הדטריטי הושפע מקרבה לאפיק נחל, כמו גם מהאופי הליתולוגי של סלעי תצורת חצבה. מסטרוקטורות של שכוב צולב בסילט וגדועים קלים, ניתן להסיק על כך שהזרימות כאן היו משמעותיות יותר מברוב מחשופי הטרברטין האחרים בערבה (בהם לא נמצאו סטרוקטורות דומות). נקבוביות הסלע נמוכה (בדרך כלל פחות מ-10%). דפנות החללים כוסו, לעתים, בצפוי דק של קלציט ספריטי; חלק מהחללים המקוריים התמלא מאוחר יותר בגבס.

כ-2 ק"מ דרומה, ביובלים של נחל אמציהו העליון, חשופה עדשה של גיר ליתוגרפי בעובי מירבי של כ-2 מ', ובשטח כולל של כמה מאות מטרים רבועים. העדשה נתונה בין שני אופקים של קונגלומרט הערבה המלוכד בקלציט ספריטי, ובמקומות מונחת ישירות על גבי אבני חול דקות-גרגר של תצורת חצבה. הסלע מורכב מחלופים ריתמיים של מינות כהות ובהירות של מיקריט-קלציטי נמוך-Mg, עם כמויות שונות של חרסית (איליט?) ודטריטוס ביוגני מטושטש, ומכיל חללים אי רגולריים רבים באוריינטציות שננות. חללים אלו ממולאים במיקריט, במיקרוספריט או במוזאיקת ספריט אקוונטי. הסלע חצוי על ידי רשת צפופה של עורקי קלציט דקים, שבמקומות מהווים מוקד לדנדריטים של תחמוצות מנגן. באמצעות המיקרוסקופ האלקטרוני הסורק נמצאו מוקדים מפוזרים של שלושה מינרלים אוטיגניים, לפי סדר נפיצותם היחסי; פלדספר-אשלגני; בריטו-צלסטיט ודולומיט.

בחלק העליון של העדשה קיימות סטרוקטורות המעידות על התיבשות



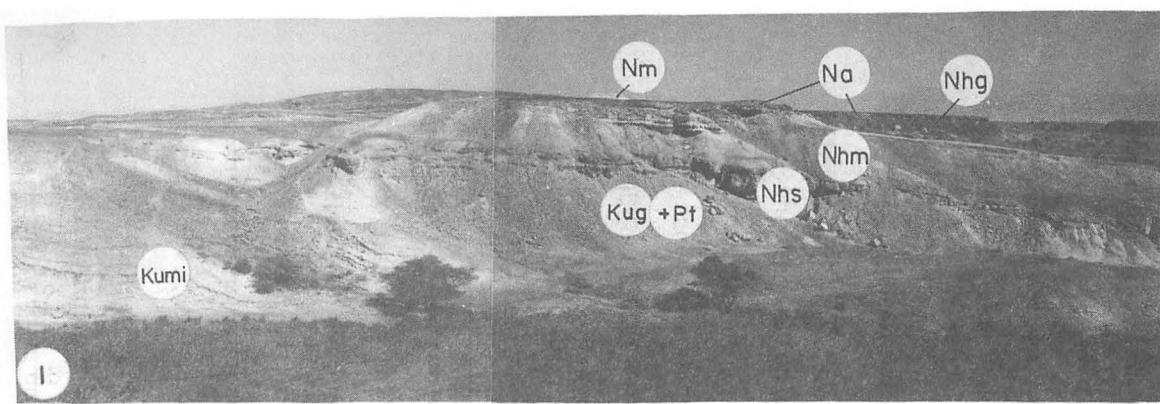
(סדקי בוך ממולאים בדטריטוס מזוות מהיחידה שמעל לעדשה הגירנית). סטרוקטורות אלה, והעדר מינרלים אבפורטיים בכמות משמעותית, מעידים על השקעה בתוך אגם קטן של מים מתוקים, שנקווה מעבר למחסום של שרטון נחלי.

מכניזם ההשקעה הריתמי נעוץ, כנראה, במחזוריות עונתית של תפוצת אצות פלנקטוניות שפעולתן גרמה לעליה בדרגת הרוויה של הקרבונט ובאלקליניות של המים. הדטריטוס הקרבונטי מקורו בזרימות שטפוניות ביובלים שהזינו את האגם. את המליחות הנמוכה ניתן ליחס, כפי הנראה, לנביעות מהאקויפר השעון של תצורת חצבה, שהזין גם את מעין סוף הסמוך מצפון.

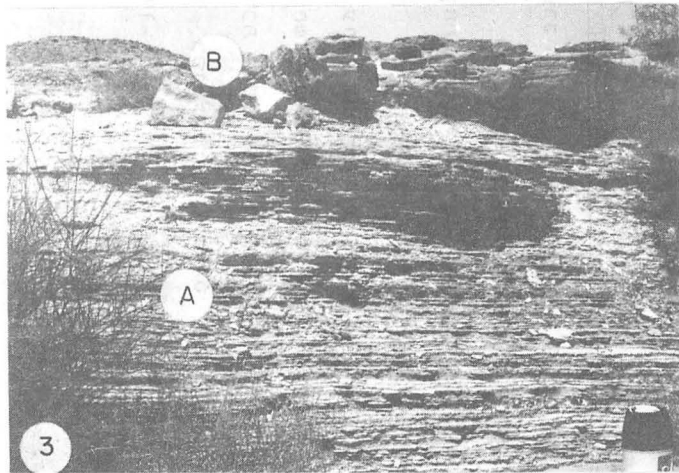
העדשה הגירנית של נחל אמציהו תוארכה באמצעות אורניום- תוריום וגילה כ-230 אלף שנה. התארוך של טרברטין עין סוף עשוי להיות בעייתי בגלל התכולה הגבוהה של דטריטוס קרבונטי; בכל אופן, קיימת סבירות גבוהה שטרברטין זה, בדומה לרוב הטרברטינים בשולי הערבה, נוצר בעיקרו בתקופות החופפות ל- 5, 7, OXYGEN ISOTOPE STAGES. לגבי המחשוף בגדה הצפונית של נחל סוף, נראה שמפלסו הטופוגרפי הגבוה מעיד על היותו עתיק מתצורת הלשון.

תחנה 7 - יחסי שדה בין תצורת חצבה לחבורת ים המלח (נ.צ. 1756/0345, - ממזרח לכביש הערבה).

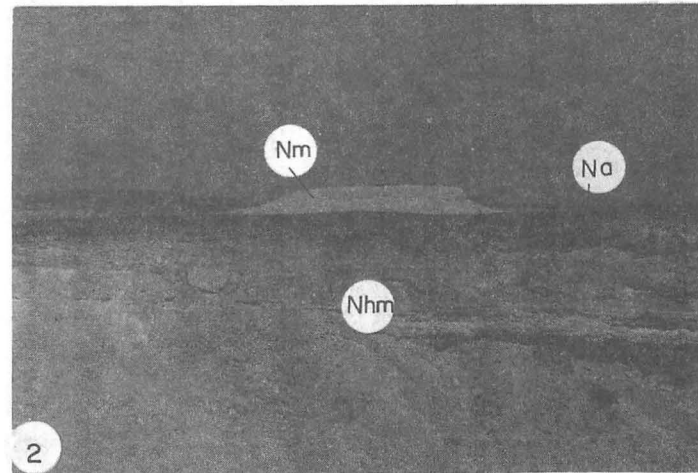
במבט למערב נראית המשכה של אנטיקלינת מחמל הנוחתת לכיוון צפון-צפון- מזרח. פרט שחק נוחת מזרחה וחוצה את כביש הערבה. לא נמצאו מחשופים של תצורת חצבה מזרחית לקו האורך 176 (כ-400 מ' מזרחית לכביש). בקרבת קו זה עובר בתת הקרקע השבר הגובל את הבקע ממערב (MAY, 1968); קו השבר חשוף כ- 3 ק"מ צפונה מכאן, בנחל צין. בעקבות השבירה התפתחה מערכת ניקוז שחתרה קניוניים ומפרצים בקיר השבר. בתוך מפרצים אלו שחתרו בקונגלומרט הבסיס הורבדו סדימנטים צעירים של תצורות סמרה והלשון.



תמונה 1. תצורת חצבה מונחת באי התאמה זוויתית על תצורת מישש. על תצורת חצבה מונחים באי התאמה קונגלומרט הערבה ותצורת מזר; עין תמיד



תמונה 3. תצורת סמרה בנחל חצבה:  
 A- החלק התחתון - גיר פלטות  
 B- החלק העליון - גיר אואוליטי



תמונה 2. תצורת מזר מונחת על קונגלומרט הערבה; עין תמיד

סיוור מס' 6: פזות טקטוניות וסדימנטריות בשוליים הצפון-מערביים

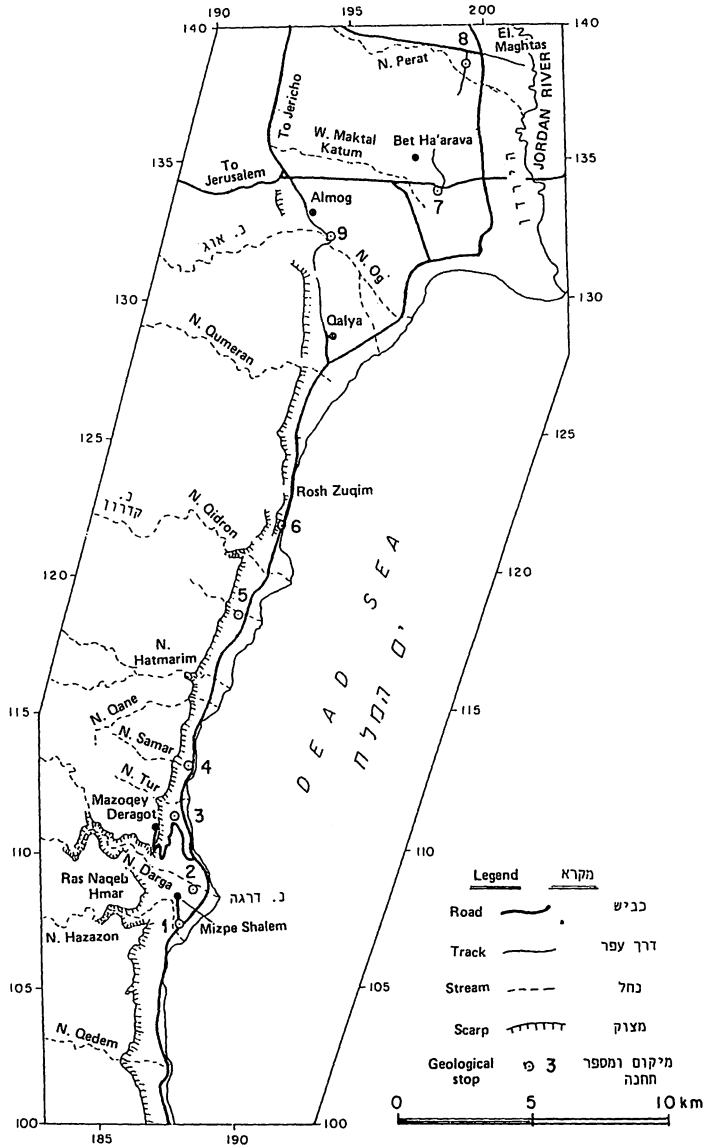
של אגן ים המלח

מיכאל גרדוש - המח' לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים  
אורי מור - המכון הגיאולוגי, ירושלים

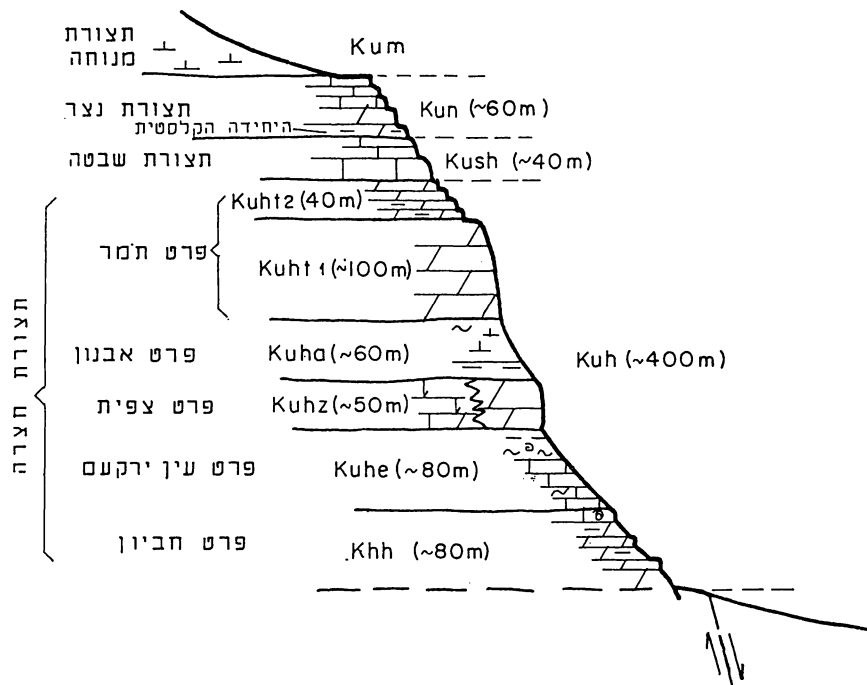
- מטרת הסיוור היא להכיר את שולי אגן ים המלח באזור שבין נחל דרגה לנחל פרת, הוא כולל 9 תחנות (ציור 1) וימשך כיום שלם. בסיוור נכללים מספר קטעי הליכה ומומלץ להצטייד בנעלים מתאימות. הנושאים העיקריים אשר יוצגו הם:
1. הסטרטיגרפיה של סלעי חבורת יהודה במצוק ההעתקים.
  2. סטרטיגרפיה וליתולוגיה של משקעי גג חבורת ים המלח ומשמעותם הפלאוגאוגרפית.
  3. תופעות שבירה צעירה במצוק ההעתקים ובשולי ים המלח.

א. הסטרטיגרפיה של חבורת יהודה

בעבודות האחרונות שנעשו לאורך ים המלח (רז, 1983; עגנון, 1983; מור, 1987) חולקה חבורת יהודה בהתאם לחלוקה שנקבעה בנגב הצפוני (ARKIN AND BRAUN, 1965), דהיינו תצורת חצרה בבסיס ומעליה תצורת דרורים, שבטה ונצר. החלוקה של תצורת חצרה לפרטים (חביון, עין ירקעם, צפית, אבנון ותמר) ברורה, ותואמת את הצדודית המדורגת בחלק התחתון של מצוק ההעתקים (ציור 2). מאידך החלוקה לתצורת דרורים, שבטה ונצר נתקלה בבעיות בעיקר בקטע הצפוני של מצוק ההעתקים. על פי החלוקה המוצעת אצל מור (1987) חסרה באזור זה תצורת דרורים ותצורת שבטה מונחת ישירות על תצורת חצרה, כפי הנראה בהתאמה. על סמך התצפיות של עגנון (1983) מאזור עין בוקק לפיהן תצורת דרורים עוברת לטרלית לחלק התחתון של תצורת שבטה, לא מן הנמנע שגם בצפון ים המלח חלקה התחתון של תצורת שבטה מקביל לתצורת דרורים (ציור 3).



ציור 1 - מפת מיקום החחנות בסיור.



ציור 2 - חתך סכמתי של חבורת יהודה במצוק ההעתקים מדרום לנחל חצצון.



גם החלוקה לתצורות שבטה ונצר אינה עונה למאפיינים הליתולוגיים מורפולוגיים המקובלים בנגב הצפוני. לדוגמה תצורת שבטה באזור זה בנויה בעיקר גיר ביומיקריטי משוכב לעומת גיר ביוקלסטי מסיבי האופיני לתצורה בנגב הצפוני. המגע בין תצורת שבטה לתצורת נצר נקבע בבסיס היחידה הקלסטית של הטורון (SANDLER AND ZILBERMAN, 1985).  
דלומיטיזציה אפיגנטית, השכיחה בתצורות שבטה ונצר במצוק ההעתקים (רו, 1983), מטשטשת את הליתולוגיה המקורית ומקשה על החלוקה לשתיה התצורות.

#### ב. חברת ים המלח

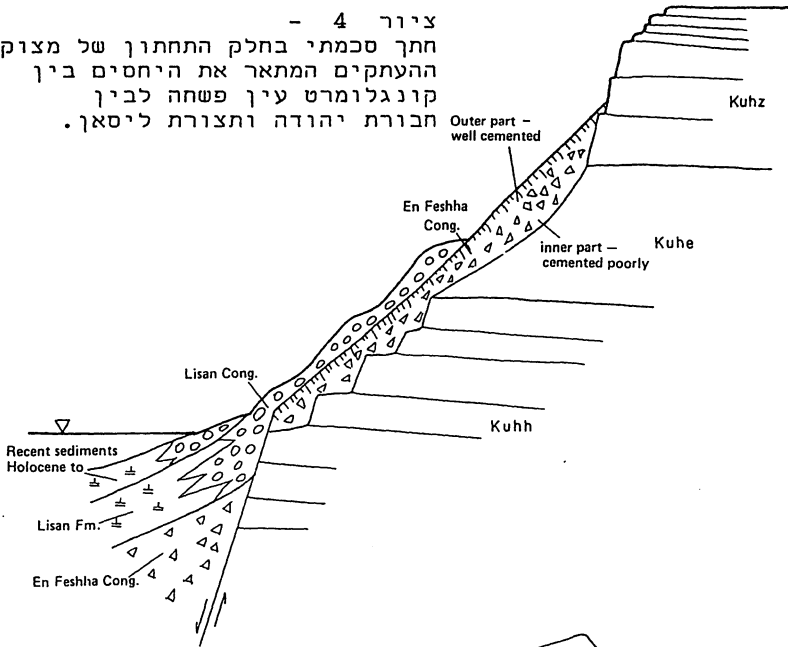
את אגן ים המלח ממלאים סלעי חברת ים המלח (זק, 1967; NEEV AND EMERY, 1967) מגיל פליוקן עד הווה. בשוליים הצפון-מערביים של האגן חשוף חלקה העליון של החבורה המורכב ממשקעים אלוביאליים, נחליים ואגמיים. הקדום מבין אלה הוא ככל הנראה קונגלומרט עין פשחה (רוט, 1970; מור, 1987). זהו קונגלומרט מלוכד המצפה את מצוק ההעתקים בצפון מערב ים המלח (תמונה 1). הוא מופיע בכתמים קטנים וגדולים (עד רוחב של כ-1.5 ק"מ) הפזורים במצוק ונפוצים בעיקר בקטע שאורכו כ-30 ק"מ בין נחל קדם בדרום לאזור קיבוץ קליה בצפון. הקונגלומרט משתרע לעיתים עד קרוב למפלס ים המלח שם הוא שבור על ידי שכרי המצוק (ציור 4). חשוב להדגיש שהקונגלומרט מצפה מצוק מורפולוגי בלוי ולא את מישורי השבר המקוריים (ציור 4), ושהוא חסר בקניונים ובערוצים החתורים במצוק.

קיימים שני טיפוסים עקריים בקונגלומרט הנבדלים בעיקר באופי מרכיביהם (רוט, 1977; מור, 1987):

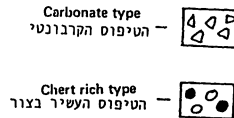
א. טיפוס קרבונטי: עיקר מרכיביו נגזר מחבורת יהודה והוא נוצר כדרדרת קדומה של מצוק ההעתקים. טיפוס זה שכיח יחסית והוא נפוץ לכל אורך רצועת ההופעה של הקונגלומרט.

ב. טיפוס עשיר בצור: עיקר מרכיביו נגזרו מחבורת הר הצופים

ציור 4 -  
 חתך סכמתי בחלק התחתון של מצוק  
 ההעתקים המתאר את היחסים בין  
 קונגלומרט עין פשחה לבין  
 חבורת יהודה ותצורת ליסאן.

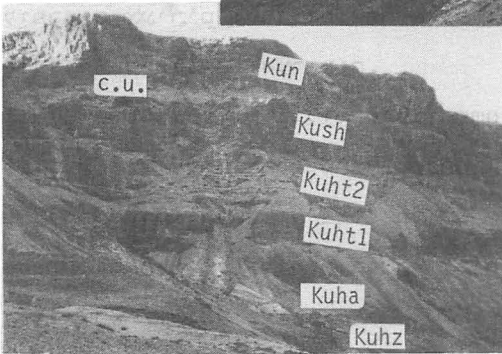
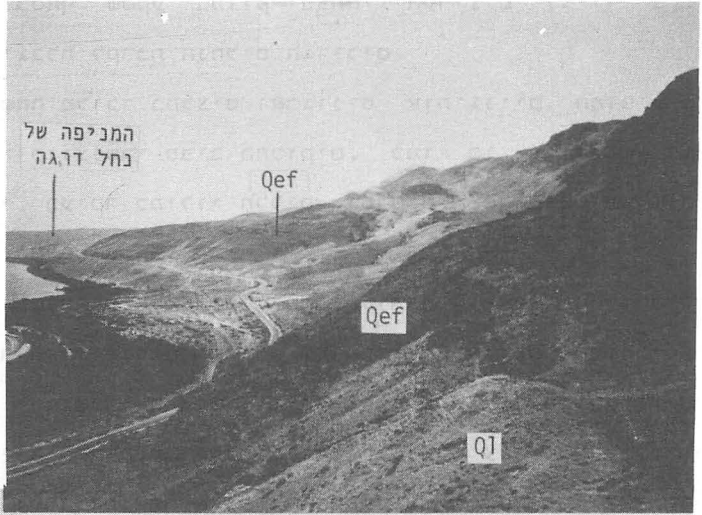


ציור 5 -  
 סכמה המתארת את סביבת ההשקעה  
 של שני הטיפוסים העקריים  
 בקונגלומרט עין פשחה.

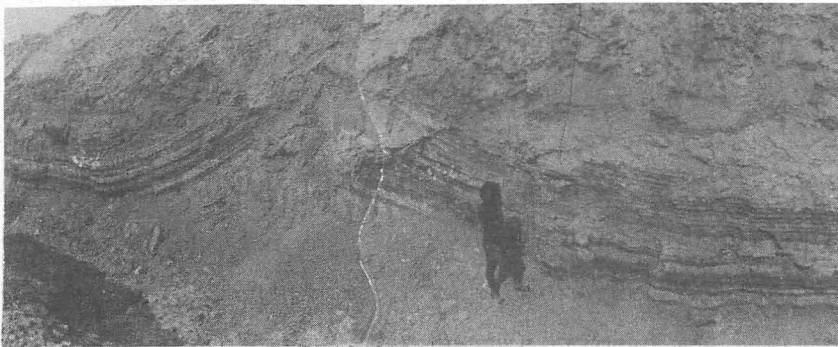




תמונה 1 -  
מבט מנחל סמר לדרום:  
קונגלומרט עין פשחה  
( Q - כהה )  
מצפה את מצוק ההעתקים,  
קונגלומרט הלשון  
( Q - בהיר )  
מונח עליו באי התאמה.



תמונה 2 -  
חבורת יהודה במצוק ההעתקים,  
צפונית לנחל דרגה  
( C.U. - היחידה הקלסטית )



תמונה 3 - משקעים הולוקנים מעוותים לאורך שבר בקעת הירדן מצפון לנחל פרת.

ומקורו כנראה בסחף ששקע במצוק בפתחי הערוצים (ציור 5).

הופעתו אכן מוגבלת לקרבת הנחלים הגדולים.

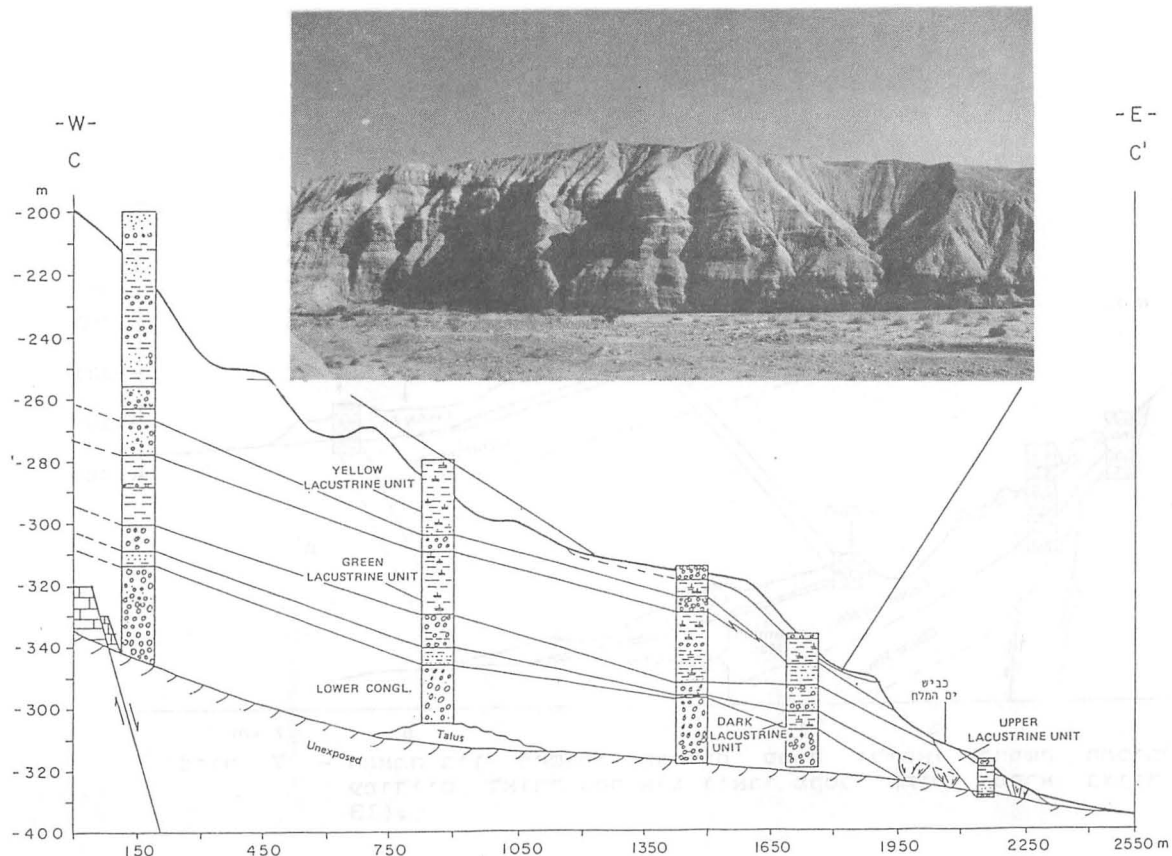
קונגלומרט עין פשחה מלוכד בקלציט וארגוניט אוטיגניים המופיעים במקומות רבים כציפוי קונצנטרי סביב החלוקים. כמו כן משולבים בו גופי קרבונט אוטיגני, בעיקר כמילוי חללים וסדקים, אך גם כעדשות המשוכבות בתוך החתך הקלסטי.

המאפיינים הבאים משותפים למחשופי הקונגלומרט ומאפשרים לקשור אותם לתופעה אחת למרות הסיפוסים השונים שתוארו: א. היותם מלוכדים; ב. היותם שבורים על ידי שברי המצוק; ג. העדרותם מהקניונים והערוצים החתורים במצוק. מאפיינים אלה מבדילים בין קונגלומרט עין פשחה לבין קונגלומרטים צעירים ודרדרות אשר אינם מלוכדים, אינם שבורים ומצויים גם במורדות הקניונים והערוצים.

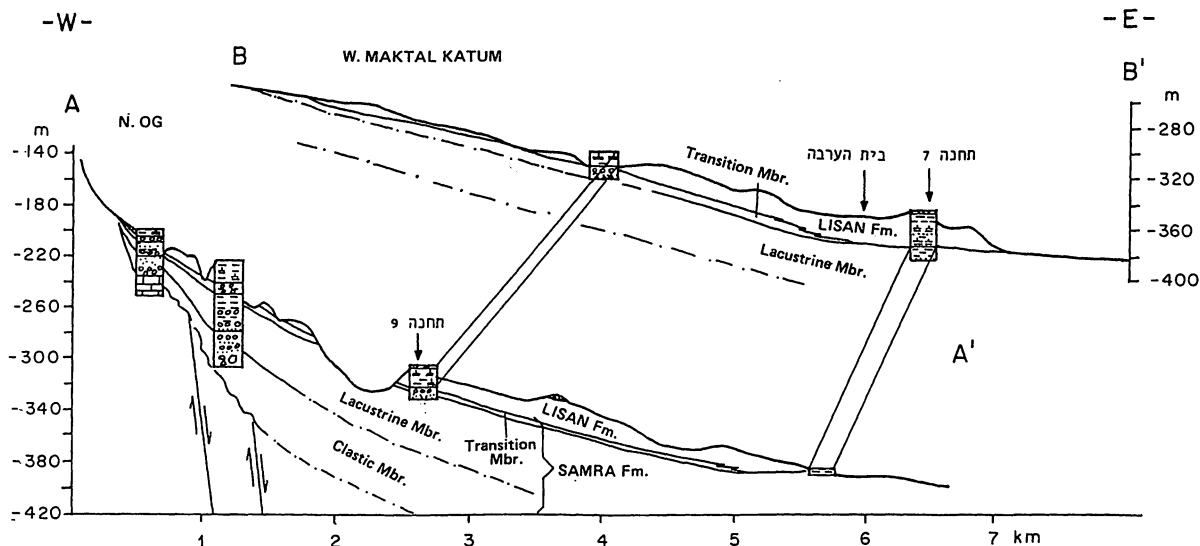
רוט (1970) הציע שקונגלומרט עין פשחה שקע במקביל להתפתחות המצוק מאז היווצרותו ועד היום. מאחר שכתמי הקונגלומרט מצפים ברציפות שטחים נרחבים ולא הובחנה בהם חלוקה למדרגות מורפולוגיות שונות (תמונה 1) נראה שהקונגלומרט הושקע ולוכד בשלב מסוים של התפתחות המצוק ולא כפי שהוצע על ידי רוט (1970). לפיכך העובדה שהקונגלומרט מגיע עד קרוב למפלס ים המלח (ציור 4), מעידה שבזמן השקעתו התנשא מצוק בעוצמה דומה לשל היום. מאידך העדרות הקונגלומרט מהקניונים מעידה שהוא נוצר בשלב ראשוני של התפתחות המצוק אשר קדם להתחלת הקניונים למימדיהם הנוכחיים.

מור (1987) הציע מודל לפיו הקונגלומרט התלכד בפן ביני שהתקיים בדרדרת במצוק בשולי אגם שהציף את מצוק ההעתקים. בפן ביני זה עורבבו מי אגם מלוחים ומים מתוקים שנבעו באקויפרים במצוק. ערבוב ביחסים שונים בפן הביני גרם לשינויים בהרכב המים כך שפעם שקע ארגוניט ופעם קלציט. כמו כן יתכן שעצם הערבוב בין שני סוגי מים שונים תרם לעל הרוויה לגבי קלציום קרבונט.

הרום הגבוה ביותר בו נמצא הקונגלומרט הוא 70- מטר. מכיוון



ציור 6 - התאמה בין יחידות משקעים בחמשה חתכים עמודיים לאורך נחל דרגה (מקרא בציור 13).



ציור 7 - התאמה בין מחשופי תצורות סמרה וליסאן בחמשה חתכים עמודיים, לאורך נחל אוג וואדי מקטל קתום (מקרא בציור 13).

שהקונגלומרט מצפה את המצוק עד לקרבת מפלס ים המלח (400- מטר) הרי ששיא עומק האגם היה לפחות 330 מטר. אגם זה התקיים כנראה בזמן כלשהו בפלייסטוקן המוקדם-תיכון (מור, 1987).

משקעים לא מלוכדים צעירים מקונגלומרט עין פשחה מונחים על בסיס מצוק ההעתקים, ומופיעים בתוך הקניונים החתורים בו לכל אורך שולי ים המלח.

בנחל דרגה מורכבים משקעים אלה מיחידות קונגלומרט גס, בינוני ודק, בחילופין עם יחידות חואריות משוכבות היטב, המשתרעות מאזור מצוק ההעתקים עד סמוך לחופי ים המלח (ציור 6). היחידות הקונגלומרטיות שקעו במניפות סחף שהתפתחו בתנאים יבשתיים בעוד שהיחידות החואריות שקעו בגוף מים, מכאן שהטור הסטרטיגרפי של נחל דרגה נוצר במספר מחזורי עליה ונסיגה של אגמים באגן.

על עליה ונסיגה של אגמים אפשר ללמוד גם מהטור הסטרטיגרפי שבאזור נחל אוג, מצפון לים המלח. בין המשקעים האגמיים של תצורת סמרה במרכז החתך, למשקעים האגמיים של תצורת ליסאן בגג החתך, מופיעה שכבת מעבר של קונגלומרט ואבן חול (ציור 7) אשר שקעה בתנאים חופיים ויבשתיים. יחידה זו המעידה על הצטמצמותו של אגם הסמרה לכיוון מרכז האגן, טרם התמלאות אגם הלשון, אינה מופיעה באזור קבוץ בית הערבה (ציור 7). יתכן על כן שפני אגם הסמרה לא ירדו עד למרכז האגן ובמצבו הסופי הוא היה גבוה יותר מים המלח של היום.

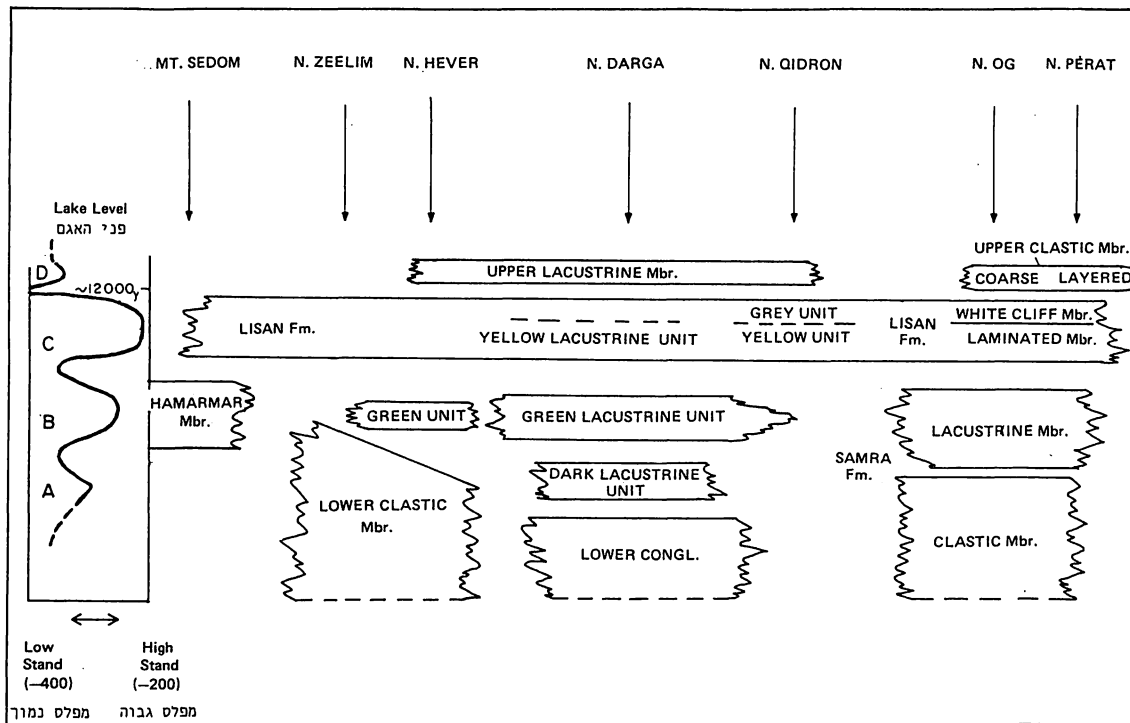
השנויים בהרכב המים אשר היו קשורים לתנודות במפלסי אגמים, נלמדו בעזרת מלחים מסיסים במים שמוצו מתוך משקעי תצורות סמרה וליסאן מאזור בית הערבה. מקורם של המלחים המסיסים הוא במי החללים המקוריים והרכבם מבטא על כן את הרכב מי האגמים בהם הצטברו המשקעים. יחסי היונים במלחים אלה מצביעים על אגם שהיה דומה בהרכבו לים המלח של היום בסוף שלב הסמרה, אשר השתנה בהרכבו, ככל הנראה עקב מהילה, בתחילת שלב הלשון וחזר בהדרגה להרכב הדומה לים המלח של היום בסיום שלב הלשון (GARDOSH, 1987).

עקב, וזוטר רציפות המחשופים קיים קושי להתאים את היחידות הסטרטיגרפיות שמצפון לים המלח לאלה שמערב ומדרום לו, ומשום כך גם גיל היחידות ומשמעותם הפלאוגאוגרפית שנויים לעיתים במחלוקת. כך למשל שוייך בעבר מרבית החתך הסטרטיגרפי של נחל דרגה לפציאס שוליים של אגם הלשון (MANSPEIZER, 1985; SNEH, 1979). על פי הדעה המקובלת כאן שקעו יחידות נחל דרגה, כמו גם יחידות משקעים נוספות לאורך האגן, במספר מחזורים של אגמים פלוביאליים אשר התמלאו והתיבשו בבקע ים המלח ככל הנראה במהלך השינויים האקלימיים של הקוורטר העליון (גרדוש, 1987).

התאמה בין יחידות משקעים אגמיים החשופים בשולי ים המלח, המבוססת על הסדר הסטרטיגרפי בחתכים שונים ועל דמיון בין המשקעים מוצגת בציר 8. על פי התאמה זו התקיימו ארבעה מחזורים עקריים: במחזור A, הקדום שבהם, הצטברו משקעים שבבסיס החתך בנחל דרגה. במחזור B הצטברו חלק ממשקעי תצורת סמרה, משקעים אגמיים בגוון ירוק המופיעים במחשופים שונים לאורך האגן וככל הנראה גם פרט חמרמר מאזור הר סדום. במחזור C, של אגם הלשון, הצטברו משקעי תצורת ליסאן המופיעים כמעט ברציפות לאורך האגן, ובמחזור D, הצעיר מאגם הלשון, הצטברו משקעים אגמיים בגוון חום שנמצאו במחשופים שונים בין נחל קדרון לנחל חבר.

## ב. שבירה

אגן ים המלח הינו שקע עמוק המתפתח תוך כדי התזוזה האופקית השמאלית לאורך בקע ים המלח (GARFUNKEL, 1981; FREUND, 1965). השקע נתחם ממזרח וממערב על ידי מערכות שברים היוצרות מצוקים גבוהים. מצוק ההעתקים ממערב לים המלח מתחלק לשני קטעים עיקריים, דרומי וצפוני, השונים זה מזה בסגנונם הטקטוני והמורפולוגי. בקטע הדרומי, המשתרע מול האגן הדרומי של ים המלח עד אזור נחל חבר בצפון, קיימת ממערב למצוק העיקרי רצועת שבירה של עד כ-3 ק"מ היוצרת מבנה של שברי מדרגות, גרבנים והורסטים. בקטע הצפוני, שמול האגן הצפוני, לא קיימת



ציור 8 - התאמה מוצעת בין יחידות סטרטיגרפיות לאורך אגן ים המלח, לשלבים אגמיים בקוורטר העליון.

שבירה משמעותית מערבית לשבר העיקרי של המצוק. כמו כן הקניונים הפורצים את המצוק גדולים וצפופים יותר בקטע הדרומי מאשר בצפוני. יתכן שהבדלים אלה מרמזים על פעילות טקטונית שונה מבחינת זמן, קצב ועוצמה בשני הקטעים של המצוק.

מבדיקה וניתוח של סימני ההחלקה במשורי השבר הנחשפים למרגלות מצוק ההעתקים בצפון מערב ים המלח עולה שהשבירה במצוק באזור זה הינה נורמלית לחלוטין ללא מרכיב אופקי מובחן (מור, 1987).

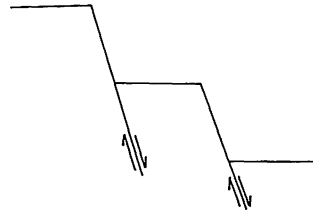
במספר מקומות לאורך חלק זה של מצוק ההעתקים התפצל השבר העיקרי למספר שבירי מדרגות, ובלוקים של חבורת יהודה באורך של עד כ-3 ק"מ וברוחב עשרות עד מאות מטרים, נותרו חשופים מזרחית למצוק העיקרי. נראה שהתפצלות זו מתרחשת במקומות בהם השבר משנה את כיוונו. קטעים אחדים בבלוקים אלה הוטו מעט מזרחה כך שנפער מרווח צר בינם לבין המצוק (ציור 9ג). קונגלומרט עין פשחה מצפה את הבלוקים בצידם המזרחי אך חסר בקירות המפתחים שבינם לבין המצוק (ציור 9ג). מאידך קונגלומרט של תצורת ליסאן ממלא את המפתחים ואין בו עדויות לשבירה (ציור 9ד). לפיכך נראה שהטיית הבלוקים התרחשה לאחר השקעת קונגלומרט עין פשחה וקודם להשקעת תצורת ליסאן.

העדויות לתנועות צעירות יותר בשברי מצוק ההעתקים עצמם מעטות. מרבית השבירה הצעירה המאוחרת לתצורת הליסאן, בשולי האגן, מתרחשת באזור שבין מצוק ההעתקים וחוף ים המלח. במרכז האגן מתרחשות עם זאת תנועות צעירות נוספות: שקיעה באזור העמוק ביותר של ים המלח (NEEV AND HALL, 1978) ותזוזה אפקית על פני שבירי סטריק-סליפ מצפון לים המלח (GARFUNKEL ET AL., 1981).

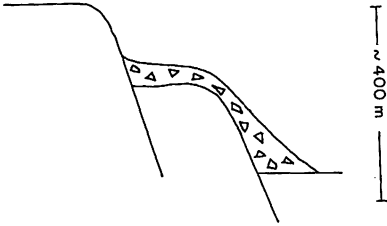
חלק מהשברים של שולי האגן, כמו בנחל דרגה (ציור 6), מופיעים במחשופים, ההסטה הסטרטיגרפית על פניהם קלה למדידה אך השתרעותם המרחבית ולעיתים גם גילם, קשים להערכה. שברים נוספים מסיטים את פני מניפות הסחף ההולוקניות ומשקעים המאוחרים לתצורת ליסאן ועל כן גילם והשתרעותם ברורים יותר, כמו למשל השברים שבאזור נחל קידרון (ציור



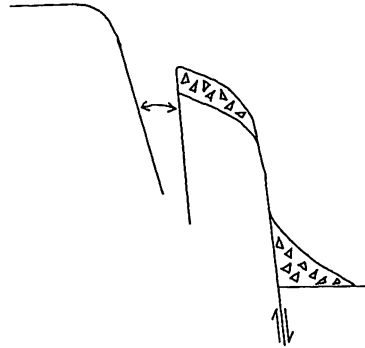
שלב א: השבירה לבלוקים.



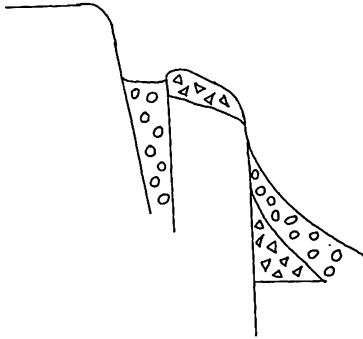
שלב ב: השקעת קונגלומרט  
עין פשחה וליכורו.



שלב ג: הטיית הבלוק למזרח, כנראה  
עקב חידוש השבירה בשכר שמזרח לו.



שלב ד: סתימת המפתח בסחף בזמן אגם  
הליסאן, והשקעת קונגלומרט במורדות  
המצוק תוך כרי נסיגת אגם הליסאן.



ציור 9 -

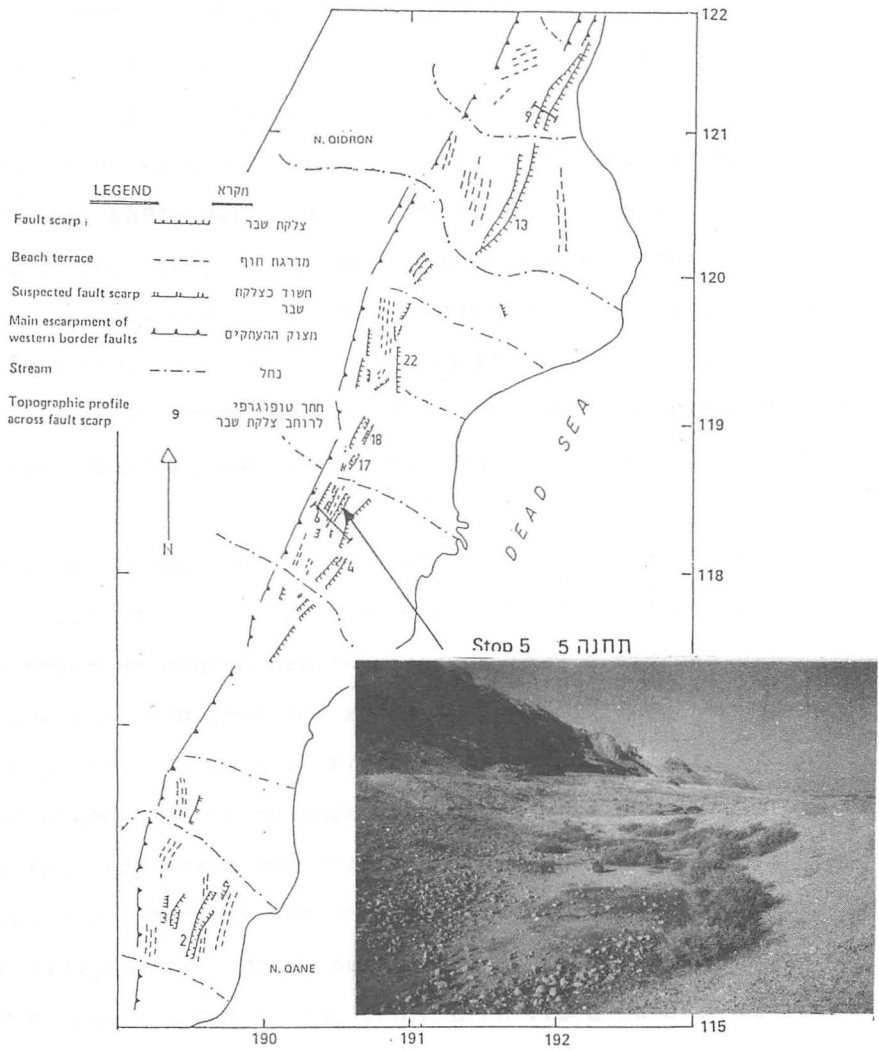
שלבים בהתפתחות הפזות הסקטוניות והסדימנטריות באזורי הבלוקים הירודים שבמצוק ההעתקים.

10). שעורי ההסטה האנכית של שברים אלה נמצאו באמצעות מדידת הגאומטריה של צלקות שברים שעל פני מניפות הסף. קצב ההשתפלות של שולי האגן באזור זה המוערך על פי זריקות השברים הוא כ-1 מ"מ לשנה. צפונה לים המלח, עובר במרכז האגן מערבה לנהר הירדן, אחד משברי התווזה השמאלית הראשיים של הבקע - שבר בקעת הירדן. שבר פעיל זה מתמשך לאורך הבקע מהאגן הצפוני של ים המלח עד סמוך לכנרת, ולאורכו מופיעים מבני מתיחה ולחיצה בהם מוסטים משקעים פלייסטוקנים והולוקנים (GARFUNKEL ET AL., 1981).

RECHES AND HOEXTER (1981) חפרו לרוחב שבר זה תעלות (באזור עין חגלה, מצפון-מזרח לקבוץ בית הערבה), בהם זוהו עדויות לשתי רעידות אדמה באלפיים השנים האחרונות. סמוך לתעלות אלה נמצא על פני תוואי השבר מבנה של לחיצה (תמונה 3), אשר על פי שיעור המעוות של משקעים הולוקנים בתוכו מוערך קצב התנועה האופקית המינימלית בשבר בקעת הירדן לכ-0.7 מ"מ בשנה.

תזמון הפזות הטקטוניות והסדימנטריות הנסקרות בסיום

| תקופה                          | פזות טקטוניות וסדימנטריות   | תחנות בסיום |
|--------------------------------|---|-------------|
| אלביין מאוחר - קוניאק מוקדם    | השקעת חבורת יהודה   | 3, 1        |
| פליוקן מאוחר - פלייסטוקן מוקדם | הווצרות מצוק גבוה ממערב לאגן ים המלח  |             |
| פלייסטוקן מוקדם - תיכון(?)     | השקעת קונגלומרט עין פשחה  | 6, 4, 3, 1  |
| פלייסטוקן תיכון - מאוחר        | המשך העתקה בשברי המצוק והטיית הבלוקים הירודים   | 4           |
| פלייסטוקן מאוחר                | עליה ונסיגה של אגמים פלוביאליים בבקע, שניים מאלה הם אגמי סמרה וליסאן                  | 9, 7, 2     |
| הולוקן                         | שלב אגמי הולוקני העתקות ממזרח למצוק ההעתקים תנועה אופקית על שבר בקעת הירדן במרכז הבקע | 2, 5, 6, 8  |



ציור 10 - מפת שברים המסיטים את פני השטח באזור נחל קדרון - נחל קנה.

תחנות הסיור

תחנה מס' 1 - תצפית על מצוק ההעתקים

(בכניסה לקיבוץ מצפה שלם)

בתחנה זו נצפה על הסטרטיגרפיה של חבורת יהודה במצוק ההעתקים (ציור 2). בהקשר זה ראויות לציון שתי תופעות:

א. שינויי פציאס בפרט צפית מפציאס דולומיטי האופייני לפרט בכל מדבר יהודה (רז, 1983; עגנון, 1983) לפציאס גירי המופיע רק בקטע שבין נחל קדם לנחל חצצון (מור, 1987). מעברי הפציאס הדרגתיים, וניכרים באופי המצוק של פרט צפית. הפציאס הדולומיטי יוצר מצוק קשה והומוגני בצבע חום והפציאס הגירי מופיע כמצוק צבעוני ורך יותר.

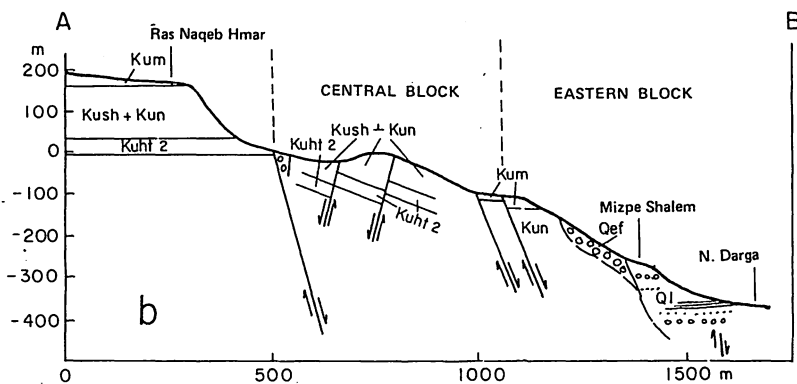
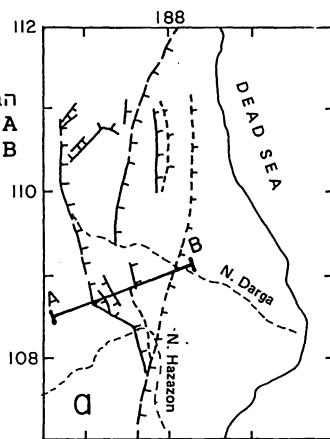
ב. שינויי עובי בפרט אבנון ופרט תמר, במגמות מנוגדות: היחידה התחתונה, המצוקית, בפרט תמר מדקת כלפי דרום ופרט אבנון מתעבה על חשבונה.

במבט לדרום-מערב ניתן לראות חתך בכתם גדול של קונגלומרט עין פשחה המצפה את מורדות המצוק מפרט צפית עד פרט חביון. באזימוט 206 ניתן לראות את הנקודה הגבוהה ביותר בה נמצא קונגלומרט עין פשחה - 70- מטר מפני הים (מעל פרט צפית).

מבנה: במבט לדרום הננו צופים על האזור הסטרוקטורלי הגבוה ביותר במצוק ההעתקים לאורך ים המלח. שבר המצוק עובר פחות או יותר לאורך קו החוף. גובה המצוק מעל לים המלח הוא כ-600 מטר.

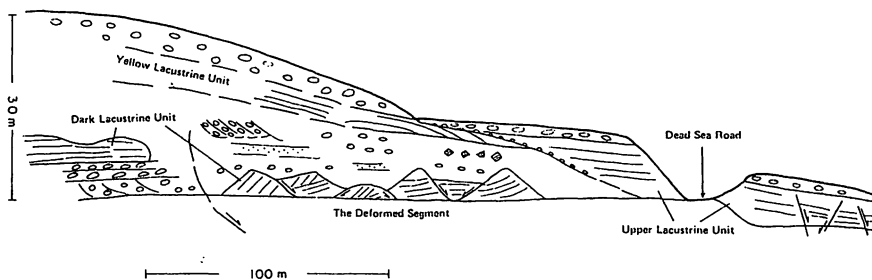
מבט לצפון-מערב על נקב חמר (הצוק שבין נחל חצצון לנחל דרגה, ציור 11): באזור זה מתפצל השבר העיקרי למספר שבירי מדרגות. בין השברים, בבלוק המרכזי, ניתן לראות סדרת גושים המוטים למזרח במבנה המזכיר התמוטטות גרביטטיבית. אולם האפשרות של התמוטטות מעין זו איננה סבירה משום שהגושים נתמכים על ידי הבלוק המזרחי (ציור 11). לפיכך, נראה שמדובר במעוות שהתרחש בבלוק המרכזי כתוצאה מהעתקה לאורך אחד השברים הגובלים בלוק זה, או לאורך שני השברים.

ציור 11 -  
 הבלוקים הירודים באזור נחל דרגה.  
 A - מבט מפה  
 B - חתך רוחב



-W-

-E-



ציור 12 -  
 היחידות הסטרטיגרפיות ותופעות המעוות בגדה הצפונית של  
 נחל דרגה, סמוך לכביש ים המלח.

תחנה מס' 2 - המניפה של נחל דרגה

(סיור רגלי המתחיל מקיבוץ מצפה שלם ומסתיים בכביש ים המלח)

א. תצפית מהגדה הדרומית של ערוץ נחל דרגה:

(נכנסים לקיבוץ ונוסעים בדרך ההקפית עד לפינה הצפון-מערבית. בנקודה זו חוצים ברגל את גדר הקיבוץ והולכים צפונה עד הגדה הדרומית של הנחל, נ.צ. 1881/1089).

מבט למערב: משקעי גג חבורת ים המלח חודרים לקניון הנחל מערבה ממצוק ההעתקים. לא ניכרים סימני שבירה בין רצף המשקעים במניפה לרצף המשקעים הממלאים את הקניון.

מבט למזרח: בגדה הצפונית של הנחל נחשף חתך עבה של משקעים לא מלוכדים. בבחינה מפורטת נמצאו בתוכו 8 יחידות סטרטיגרפיות מוגדרות שאופיין, גווניהן ויחסי השדה ביניהן נשמרים לאורך האפיק (ציור 6). ארבע מהיחידות, המורכבות מלמינות ושכבות דקות של משקעים דטריטיים, למינות ארגוניט ומעט חלוקים שקעו בתנאים אגמיים. למעט היחידה האגמית העליונה הנחשפת רק במזרח הנחל, מופיעות היחידות האגמיות האחרות לכל אורכו, כאשר השינויים העקריים בכיוון זה הם עליה בכמות החלוקים והחול וירידה בכמות הארגוניט לכיוון מצוק ההעתקים במערב. בין היחידות האגמיות מופיעות יחידות קונגלומרטיות המכילות חלוקים, בולדרים, ועדשות חול וסילט, ונפוצים בהם מבני שיכוב צולב ותעלות ארוזיביות. יחידות אלה הצטברו בתנאים חופיים ויבשתיים.

הגובה הטופוגרפי המירבי בו מופיעים המשקעים האגמיים הינו הגובה המינימלי של פני האגמים בתוכם הם שקעו, בעוד שהגובה הטופוגרפי הנמוך ביותר בו מופיעים המשקעים האלוביילים בגג היחידות האגמיות מתאר את מידת הנסיגה של פני אותם האגמים. מאלה ניתן להעריך תנודות מפלס של עד מספר מאות מטרים במהלכם של ארבעה מחזורים אגמיים באגן (ציורים 6, 8). עם הנסיגה התרחשה לעיתים הסרה ארוזיבת של גג החתך. זו כנראה הסיבה לירידה הנכרת בעובי היחידה האגמית הצהובה לאורך

ב. מבט מקרוב על היחידות האגמיות:

(היחידות נחשפות בערוץ שבנ.צ. 1883/1088 דרכו יורדים לנחל

דרגה).

היחידות האגמיות בנויות משכבות דקות של חומר דטריטי בגודל גרגר חולי, סילטי וחרסיתי. צבע השכבות הדטריטיות מגוון למרות שבכל יחידה שולט בדרך כלל צבע מסוים. שכבות קונגלומרט דקות רבודות לעיתים ביחידות האגמיות. היחידות כוללות מינות עדינות ולבנות של ארגוניט. גבס גבישי מצוי לעיתים בתוך השכבות הדטריטיות. מבני מעוות סדימנטרים מסוג קמטים איזוקלינליים, גושים מוטים וגלישות נפוצים ביחידות אלה.

במפגש עם ערוץ נחל דרגה נחשפת יחידת הקונגלומרט התחתונה. הקונגלומרט איננו מלוכד, לעיתים הוא מסיבי ולעיתים משוכב ונפוצים בו מבני שכוב צולב. כמו כן הוא מכיל עדשות של חול וסילט.

ג. גלישות סינדפוזיציונליות במניפה ומשקעי היחידה האגמית העליונה: (הולכים במורד הנחל עד כ-100 מטר מערבית לכביש ים המלח).

היחידה האגמית התחתונה (הכהה), הנחשפת בקיר הצפוני של הנחל, שבורה לסדרת גושים (ציור 12). מישורי השבירה שבין הגושים מתמתנים בדרך כלל כלפי מטה ונבלעים במשורי השכוב. למרות השבירה הצפופה הגושים נמצאים במפלס אחיד פחות או יותר ולא קיימת העתקה אנכית משמעותית לאורך הקטע השבור (ציור 12). אופי השברים והעדר העתקה אנכית מעידים שאלו מבנים של גלישה. המשך היחידה במערב נמצא במפלס מעט גבוה ואיננו שבור. יתכן אפוא שמקור המעוות באזור זה הוא בגלישה שהתרחשה על מישור כלשהו בין הקטע השבור לבין המשך היחידה האגמית במערב (ציור 12). היחידה האגמית הצהובה הנמצאת מספר מטרים מעל הגושים הגלושים איננה שבורה ולפיכך נראה שהגלישה התרחשה לפני השקעת יחידה זו.

בקצה המזרחי של הקטע המעוות מונחים המשקעים החומים של ו

האגמית העליונה באי התאמה על היחידות הבונות את המניפה (ציור 12). משקעים דומים נמצאו בגובה טופוגרפי זהה ובעמדה סטרטיגרפית דומה, בנחל קדרון, נחל ערוגות, נחל חבר ונקודות נוספות. היחידה שקעה עם עליית מפלס המים באגן בהולוקן (ציור 8), בתוך אגם אשר קדם לים המלח והגיע לפחות לגובה של כ-360 מטר.

ד. שבירה הולוקנית:

(חוצים את הכביש ויורדים מזרחה לערוץ הנחל, נ.צ. 1894/1084)

בגדות הנחל נחשפת היחידה האגמית החומה עד לבסיסה. ההדקקות ההדרגתית של גודל הגרגר בחתך, מקונגלומרט בבסיס דרך שכבות חול עד לשכבות החואר הדקות בחלק העליון, מבטאת עליה הדרגתית במפלס גוף המים (SNEH, 1979).

חתך היחידה האגמית החומה מוסט במספר שברים נורמלים הבולטים בגדה הדרומית של הערוץ (ציור 12). משורי השברים ישירים וההסתות האנכיות על פניהם הן של כחצי מטר. על אף שסגנון המעוות וגיל המשקעים שונים מאלה של האזור השבור ממערב לכביש הרי שסמיכות שתי המערכות מרמזת על מקור טקטוני אחד.

### תחנה מס' 3 - קונגלומרט עין פשחה

(בעיקול חד במעלה הכביש למצוקי דרגות, 2.15 ק"מ מההתפצלות מכביש ים המלח - נ.ג. 221-)

תחילה נעייף אבט לצפון-מערב על חבורת יהודה באזור נחל טור (תמונה 2). היחידה הקלסטית של הטורון (ציור 2) יוצרת מדרגה באמצע המצוק הדולומיטי של גג החבורה (דולומיטיזציה אפיגנטית) ומאפשרת לחלק אותו לתצורות שבטה ונצר.

על המדרון התלול שמתחת לנ.ג. 221- מונח הטיפוס הקרבונטי של קונגלומרט עין פשחה. הופעתו כאן מיוחדת באחידות הליתולוגית של המרכיבים ובאופיים המזוות. מקור ברקציה זו, כפי הנראה, בהצטברות



ראשונית של דרדרת בקרבה מיידית למקור ההספקה, ללא תרומה של חומר זר. בולטות תופעות העדר השיכוב, האריזה הצפופה והמיון הטוב במקומות.

ליכוד קרבונטי עוטף את שברי הסלע בציפוי קונצנטרי. כמו כן מקיף קרבונט אוטיגני ופורוזי, בעובי של חצי מטר ויותר, בולדרים של דולומיט.

בבסיס המדרון התלול מצוי הטיפוס העשיר בצור של קונגלומרט עין פשחה. טיפוס זה מצפה את מרבית שטחו של הבלוק שעליו אנו מצויים, כמעט עד למפלס ים המלח. עגוליות החלוקים בו בינונית עד טובה (בעיקר החלוקים הקרבונטים) ומיונם טוב יחסית. השכוב מודגש יחסית ונפוצים מבני שיכוב צולב.

על פי יוב לא נצפו יחסי מגע בין הטיפוס הקרבונטי בהופעתו הרגילה לבין הטיפוס העשיר בצור. מאידך ברקציה קרבונטית כמן זו שראינו קודם מופיעה דוקא באסוציאציה עם הטיפוס העשיר בצור. יחסי השדה מעידים שהברקציה קדומה בד"כ לקונגלומרט העשיר בצור.

#### תחנה מס' 4 - בלוק ירוד במצוק ההעתקים

(נוסעים צפונה, 3.4 ק"מ מצומת הכניסה למצוקי דרגות עד לנחל סמר, ועולים בשביל שבגדה הצפונית של הנחל עד לכתף הראשונה, כ-100 מ' מהכביש).

הכתף נוצרת על ידי בלוק ירוד במצוק שהוטה מעט מזרחה. קונגלומרט עין פשחה מהווה חלק מהבלוק והוטה יחד איתו. קונגלומרט לא מלוכד, המקביל כפי הנראה לתצורת ליסאן, ממלא את המפתח שנוצר בין המצוק לבין הבלוק. יחסים אלה מעידים שהטיית הבלוק התרחשה לאחר השקעת קונגלומרט עין פשחה ולפני השקעת תצורת ליסאן. ציור 9 מתאר באופן סכמתי את השלבים הטקטונים והסדימנטרים בנקודה זו. יחסים דומים קיימים בבלוק הירוד שבנחל תמרים ובזה שבראש צוקים (מור, 1987).

תחנה מט' 5 - צלקות שברים הולוקניים

(נוסעים 6.5 ק"מ צפונה מנחל סמר עד סמוך לגשרון בכביש ים המלח בנ.צ. 1907/1185, משם הולכים כ-250 מטר מערבה לאורך הגדה הדרומית של הוואדי עד לבקעה צרה וארוכה המשתרעת מדרום לו, ציור 10).  
אנו נצבים בתוך גרben צר המוגבל על ידי שברים ממזרח וממערב, המסיטים את משקעי גג תצורת ליסאן. בגלל חוסר הליכוד של המשקעים התבלו משורי השברים והם מופיעים כמדרונות חלקים ותלולים למדי ששפועיהם גבוהים לעיתים משפוע התנוחה המירבית של החומר (25 מעלות בשבר מהערבי ו-45 מעלות בשבר המזרחי). קרקעית הגרben שטוחה וחלקה וניכרים בה התפתחות קרקע וצמחיה שמקורם בחוסר ניקוז של שלוליות חורף.

ננוע לאורך הגרben דרומה ולאחר כ-50 מטר נטפס על הצלקת המערבית. במבט מערבה נבחין במדרון מתון המכוסה חלוקים גדולים ובולדרים. זהו מדרון של מדרגת חוף אשר התפתחה בחופי אגם הלשון הנסוג. כיסוי בולדרים כזה אשר נוצר על ידי תהליכי הסעת הגלים (BOWMAN, 1971) אינו מופיע במדרון החלק והבהיר של הצלקת המערבית.

מערכת צפופה של שברים הולוקניים הבולטים בתצלומי אוויר כליניאמנטים בהירים מופו ממזרח למצוק ההעתיקים בין נחל קדרון לבין נחל קנה (ציור 10). מרבית השברים שאותרו אינם ניתנים לזיהוי במחשופים ניצבים למשור השבר על כן נמצאה הזריקה האנכית שלהם על ידי מדידת חתך טופוגרפי מפורט לרוחב הצלקת בכיוון כללי מזרח-מערב. המשקעים השבורים צעירים מאגם הלשון שנסיגתו החלה לפני כ-13000 שנה (BEGIN ET AL., 1985). באמצעות חישוב סך הזריקה האנכית המצטברת כלפי מזרח על פני מספר שברים בחתכים 6 ו-9 (ציור 10), מוערך קצב ההשתפלות המינימלי של שולי האגן בהולוקן בכ-0.9 מ"מ שנה.

במרחק 100 מ' מערבה מצוי גרben נוסף רדוד יותר וממערב לו צלקת שבר גבוהה סמוכה למצוק ההעתיקים. שבר נוסף שצלקתו בולטת מצוי כ-100 מ' מזרחה לתחנה (ציור 10).

תחנה מס' 6 - העתקה צעירה בשברי המצוק

(1.7 ק"מ צפונית לנחל קדרון ממערב לכביש ים המלח).

באזור זה הכביש מתקרב למתלול השבר שלמרגלות הבלוק הירוד של ראש צוקים. המתלול בנוי בעיקר מקונגלומרט עין פשחה. בערוץ החתור במתלול נחשפות סדרות עבות של שיכוב צולב גס בטיפוס העשיר בצור של קונגלומרט עין פשחה. בקיר הצפוני של הערוץ, בחלקו התחתון, מצויה שכבה חוארית בעובי של כחצי מטר הבנויה חילופין של למינות ארגוניט ולמינות דטריטיות. שכבה זו שקעה כפי הנראה באגם אשר הציף את המצוק וליכד את קונגלומרט עין פשחה.

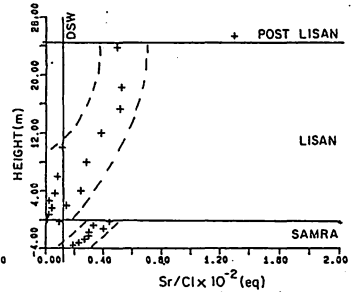
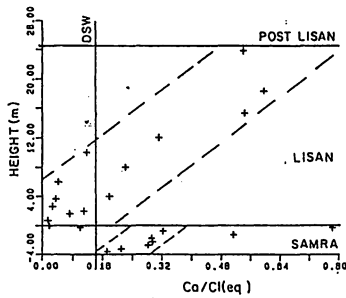
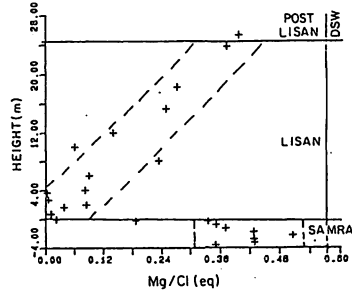
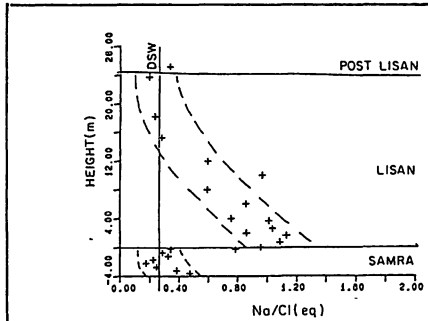
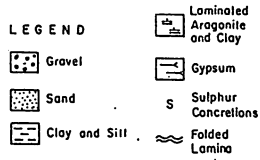
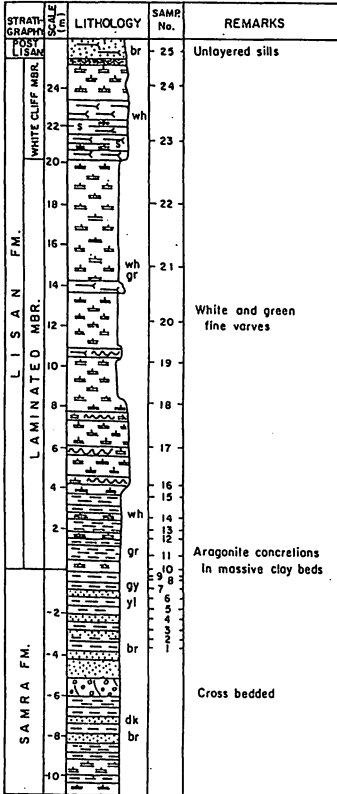
מעט צפונה לערוץ (כ-50 מטר), בחפירה קטנה שבין מתלול השבר לכביש, נחשפים משקעים למינריים של תצורת ליסאן המוטים בכ- 30-40 מעלות למזרח. הסמיכות של משקעים מוטים אלה למתלול השבר מרמזת לפעילות העתקה, הצעירה מתצורת ליסאן, על גבי שבר זה. קו שבירה צעיר זה נמשך כ-1.5 ק"מ דרומה תוך כדי יצירת צלקות שברים בגג המניפה של נחל קדרון (ציור 10).

תחנה מס' 7 - משקעי תצורות סמרה וליסאן במרכז הבקע

(מכביש ים המלח-יריחו פונים מזרחה בדרך המובילה לקיבוץ בית הערבה וגשר עבדאללה. לאחר כ-2 ק"מ עוצרים' בסמוך לדרך עפר נ.צ. 1984/1338. הכניסה לתחנה זו מחייבת תאום מוקדם עם צה"ל).

אנו נצבים בבסיסה של מדרגה טופוגרפית התוחמת את הבקעה הרחבה המשתרעת מכאן מזרחה. המדרגה מורכבת מהמשקעים הלבנים והפריכים של תצורת ליסאן, אך בבסיסה חשופים משקעים בגוון חום אדמדם הנראים לאורך דרך עפר כ-50 מ' דרומה לכביש, ומופיעים בקרקעית הבקעה שממול. אלה הם משקעי תצורת סמרה (BEGIN ET AL., 1974). במבט מקרוב נבחין שתצורת סמרה מורכבת מלמינות ושכבות כהות של חרסית סילט וחול, ועוביה החשוף מגיע לכ-11 מ' (ציור 13). עוביה של תצורת ליסאן שמעל

ציור 13 - חתך עמודי בתצורות סמרה וליסאן מדרום מזרח לבית הערבה נ.צ. 19841335.  
 אנליזות מלחים מסיסים בוצעה ל-25 דגמאות.



ציור 14 - השתנות יחסי אקווילנטים במלחים מסיסים במים, מדרום מזרח לבית הערבה.

משקעי החתך

(DSW = DEAD SEA WATER  
 KATZ ET AL. 1977  
 KATZ AND KOLODNY, IN PREPR.)

כ-25 מ', והיא מחולקת לשני פרטים (BEGIN ET AL., 1974), הפרט המשוכב המורכב מוורוות חרסית ירקרקה וארגוניט הבונים את המדרונות הפריכים והבהירים של המדרגה, ופרט המצוק הלבן שהוא דרגש קשה של גבס, חרסית וארגוניט המופיע בראשי הגבעות. מהשכוב העדין וגודל הגרגר ניכר ששתי התצורות מורכבות ממשקעים אגמיים. כדי לבחון את אופי גופי המים בהם שקעו נבדק הרכב המלחים המסיסים במים אשר מוצו ממשקעי הסמרה והליסאן (ציורים 13, 14). (GARDOSH, 1987) על פי ההנחה שיחסי היונים במלחים אלה שמקורם במי החללים הקדומים, דומים ליחסי היונים במי האגמים המקוריים, נראה שהמעבר בין אגם סמרה לאגם הלשון הראשוני היה קשור בשינוי ניכר בהרכב של מי אגמים אלה. כך למשל הערך הנמוך של היחס NA/CL במי אגם הסמרה, הדומה לזה של ים המלח היום, משתנה לכ-1 באגם הלשון (ציור 14), ככל הנראה עקב המסת הליט במי האגם העולים. השנוי ההדרגתי בהרכב אגם הלשון (ציור 14) נובע כנראה מהתיבשות וערבוב עם תמלחות מתת הקרקע (GARDOSH, 1987).

תחנה מס' 8 - משקעים הולוקנים שבורים ומקומטים מצפון לנחל פרת  
(נוסעים כ-1.5 ק"מ מזרחה עד לכביש המערכת ממשיכים צפונה על כביש המערכת עד לצומת עם כביש יריחו - אל מעטס (כ-4,5 ק"מ). כ-600 מ' מערבה מצומת זו חפורה תעלה עמוקה - נ.צ. 1995/1389. הכניסה לתחנה זו מחייבת תאום מוקדם עם צה"ל).

ננוע בצדה המזרחי של התעלה לכיוון דרום ונבחין במשקעים הלמינריים הבהירים של תצורת ליסאן החשופים בקירותיה. לאחר כ-450 מ' (נ.צ. 1994/1385) מופיעים בגג התעלה משקעים משוכבים חוליים סילטיים בגוון חום אדמדם. המגע בין משקעים אלה למשקעי הליסאן נוחת דרומה לכיוון נחל פרת. אלה הם משקעי הפרט הקלסטי העליון (גרדוש, 1987; BEGIN, 1975), שחלקו התחתון שקע ככל הנראה בשולי אגם הלשון הנסוג בעוד שחלקו העליון הצטבר במשך תקופה אקלימית לחה בהולוקן.

מעט דרומה לקו המגע מעוותים משקעי הפרט הקלסטי העליון לקמט רדוד שבתוכו מספר שברים הפוכים (תמונה 3). מבנה זה של לחיצה מופיע לאורך תוואי שבר בקעת הירדן המזוהה היטב בתצלומי אוויר מצפון ומדרום לאתר. הוא נוצר כתוצאה מהתנועה האופקית השמאלית וכפיפה מקומית של קו השבר בנקודה זו כ-20 מעלות מזרחה.

כיוון קיר התעלה, 9 מעלות, הוא ככיוון שבר בקעת הירדן. ועל כן מידת ההתקצרות לאורך המבנה מבטאת חלק מהתנועה האופקית של השבר. גיל המשקעים המעוותים בגג החתך, שהוערך על פי שבלולים יבשתיים שנבחנו בשיטת AMINO-ACID RACEMIZATION הוא כ-3500 שנה (ג. גודפרנד בע"פ). קצב התנועה האופקית המנימלית על השבר מוערך ל-0.7 מ"מ בשנה.

#### תחנה מס' 9 - תצפית על הגדה הדרומית של נחל אוג

(נעים בדרך העפר הממשיכה מקיבוץ אלמוג דרומה לקיבוץ קליה ועוצרים מעל ערוץ נחל אוג - נ.צ. 1942/1322).

בגדה הדרומית של הערוץ חשופים משקעי תצורת סמרה ומעליהם משקעי תצורת ליסאן, הנטויים (בנטיה מקורית) של כ-3 מעלות למזרח. במגע ביניהם מצויה שכבת קונגלומרט, המתעבה מערבה וצפונה (ציור 7) ובאזור ואדי מקטל קתום מופיעים בתוכה דרגשי אבן חול אואוליטית אשר תוארו בעבר על ידי PICARD (1943). שכבת הקונגלומרט הנעלמת כלפי מזרח שקעה בעת התיבשות חלקית של אגם הסמרה, טרם התמלאות אגם הלשון. התיבשות זאת תואמת להרכב מי אגם זה בסוף ימיו (ראה תחנה 7).

אנו מודים להנהלת החברה הגיאולוגית ולמכון הגיאולוגי שסייעו

בהכנת הסיור.

סיור מס' 7: חתך גיאולוגי לאורך תואי המסוע של מפעלי ים המלח.

יעקב ארקין ופרנסיס הירש, המכון הגיאולוגי, ירושלים

#### מבוא

המסוע של מפעלי ים המלח שאורכו 18 ק"מ, והבדלי גובה של 777 מ' מתחיל בבקע ים המלח בגובה 402 מ' מתחת לפני הים התיכון, חוצה את מדבר יהודה ומגיע לגובה של 375 מ' במסוף אפעה שבמישור רותם (ציור 1).

תואי המסוע חוצה את סידרת הסלעים הרכים במשור אדמון שבבקע, את ההעתק הראשי של הבקע ותופעות הסידוק הנלוות אליו, את הקמר של רמת חמרמר ואת מישור רותם.

המסוע מיועד להוביל כ- 4.5 מליון טון של אשלג לשנה ותוצרים אחרים של המפעל (ציור 1).

האלמנטים הגיאולוגיים העיקריים לאורך תואי המסוע הם :

בקע ים המלח ובו מילוי של סדימנטים צעירים מגיל פליוקן-פליוסטוקן; מצוק ההעתקים המתנשא באיזור זה לגובה 700 מ', ובנוי סלעי חבורת יהודה ובהם שכבות גיר ודולומיט קשים עם שכבות ביניים חוואריות; הקמר של חמרמר וקער מישור רותם מהווים המשך למבנים של הנגב הצפוני, ובהם נחשפים גירים ודולומיטים של החלק העליון של חבורת יהודה, ושכבות קרטון וצור של חבורת הר הצופים.

המפה הגיאולוגית של אזור תואי המסוע (ARKIN AND HIRSCH, 1982) מוצגת בציור 2B, 2A; חתך גיאוטכני לאורך התואי מוצג בציור 3B, 3A ותאור סטרטיגרפי וליתולוגי מפורט של החתך החשוף (ארקין, 1980) מופיע בציור 4.

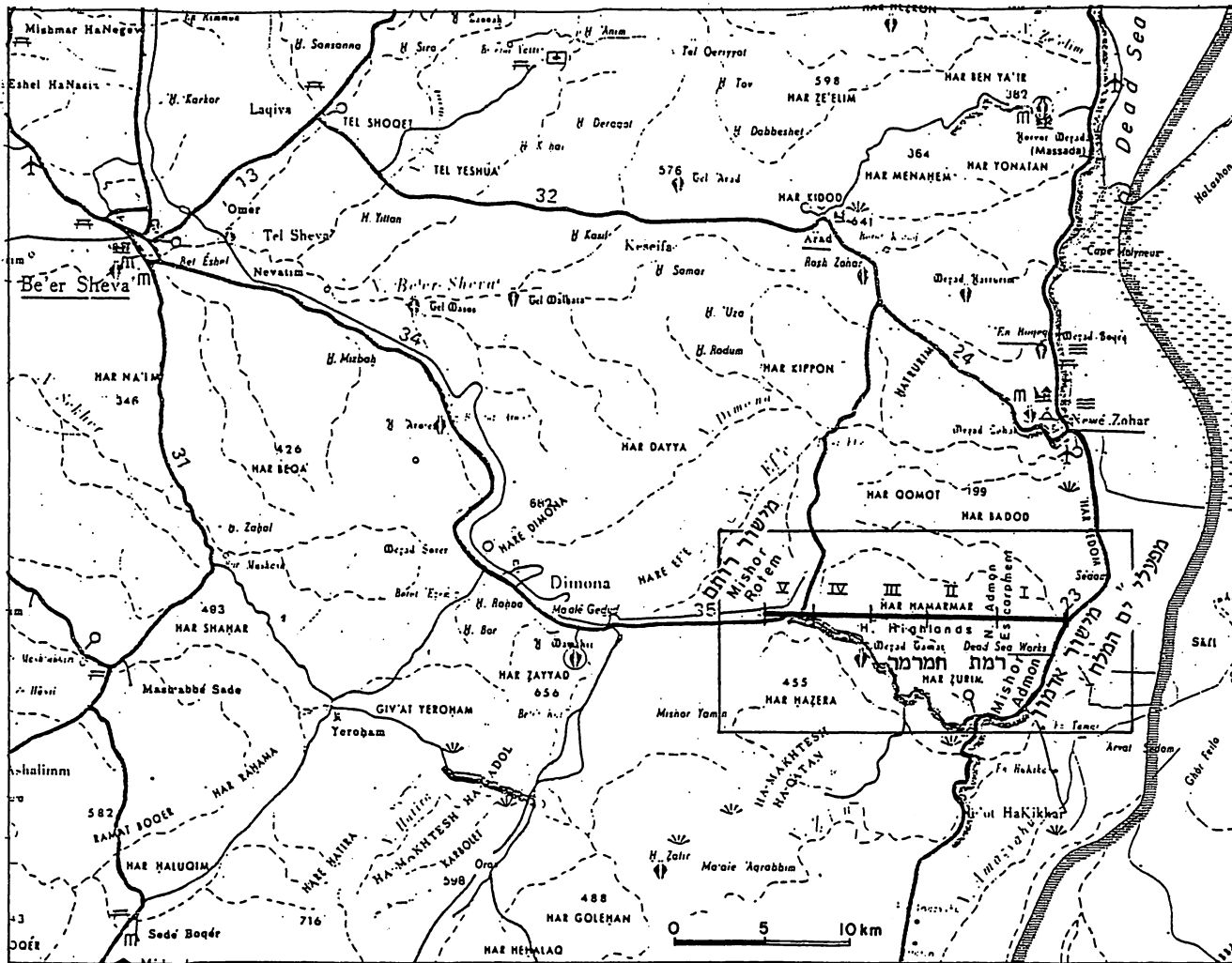
#### החתך החשוף לאורך התואי

תצורת חצרה (ARKIN AND BROWN, 1965), גיל קנומן.

פרט צפית (KUHZ). עובי 20 מ' (בסיס לא חשוף):

החלק הנמוך ביותר, החשוף של חבורת יהודה לאורך תואי המסוע הוא

פרט צפית של תצורת חצרה.



ציר 1 : מיקום תחומי המסרע של מפעלי ים המלח.



מחשופים של פרט זה נמצאים בבסיס מצוק ההעתקים העיקרי הצופה אל בקע ים המלח. הפרט בנוי מדולומיט מסיבי קשה, בצבע חום כהה, היוצר מצוקים.

פרט אבנון (KUHA). עובי 60-90 מ':

הפרט נחשף במצוק העתקים או בתחתית הקניונים של נחל אדמון ונחל פרס, ובנוי קרטון רך, חוואר וגיר. החוואר מכיל מאובנים ותרכיזי פיריט בחלק האמצעי של הפרט. השכבות העליונות בחלקן דולומיטיות ודומות במקומות לפרט תמר שנמצא מעליהן.

פרט תמר (KUHT). עובי כ- 60-80 מ':

פרט זה בונה את החלק העליון ביותר של תצורת חצרה ונחשף ברוב האזור. בסיסו בנוי דולומיט מסיבי, משוכב היטב בשכבות עד לעובי של 2 מ'. החלק העליון לרוב דולומיט רך יותר, במקומות עם שכבות של קרטון וחוואר.

תצורת דרורים (KUD). עובי 30-35 מ' גיל קנומן-טורון:

תצורה זו נחשפת בקניונים החותרים את מצוק ההעתקים וצפונית להר צבאים (ציורים 3A, 3B). היא בנויה גיר קרטוני, חוואר ואבן גיר, עשיר במאובנים. חלקה עבר דולומיטיזציה.

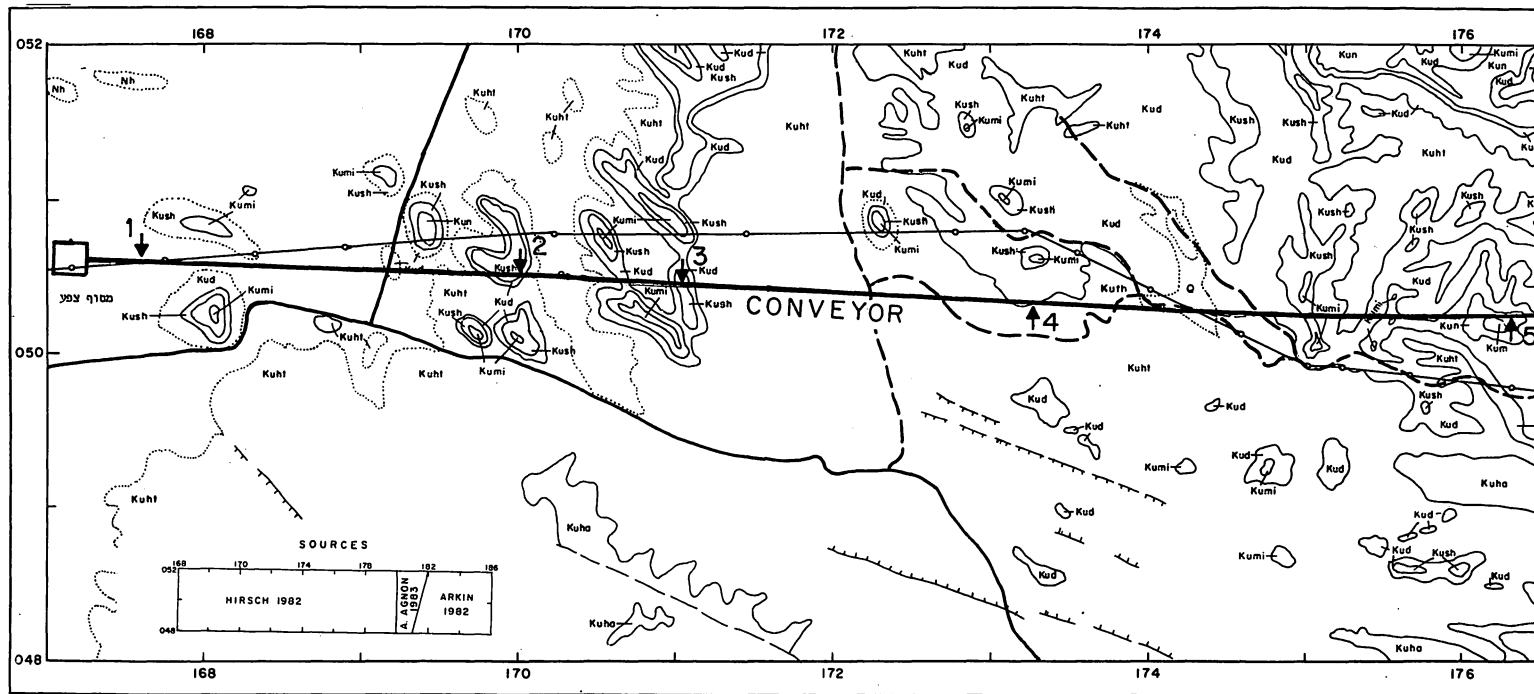
תצורת שבטה (KUSH). עוביה 0-20 מ', גיל טורון:

תצורה שבטה חשופה בחלק העליון של הקניונים ובראשי הגבעות. באזור בקעת צבאים. התצורה בנויה גיר ליתוגרפי עם רודיסטים. תרכיזי צור מופיעים בגג התצורה. עוביה משתנה ממספר מטרים ועד ל-20 מ'. בגג התצורה אי-התאמה, הנובעת מארוזיה פרה-סנונית.

תצורת נצר (KUN). עובי 0-25 מ', גיל טורון:

התצורת נחשפת בעיקר בחלק המזרחי של האזור, ומונחת על גבי תצורת שבטה. היא בנויה מחילופין של גיר ליתוגרפי, קרטון וקרטון חווארי. יוצרת לרוב נוף רך של מדרגות ומדרונות מתונים. לכיוון מערב היא

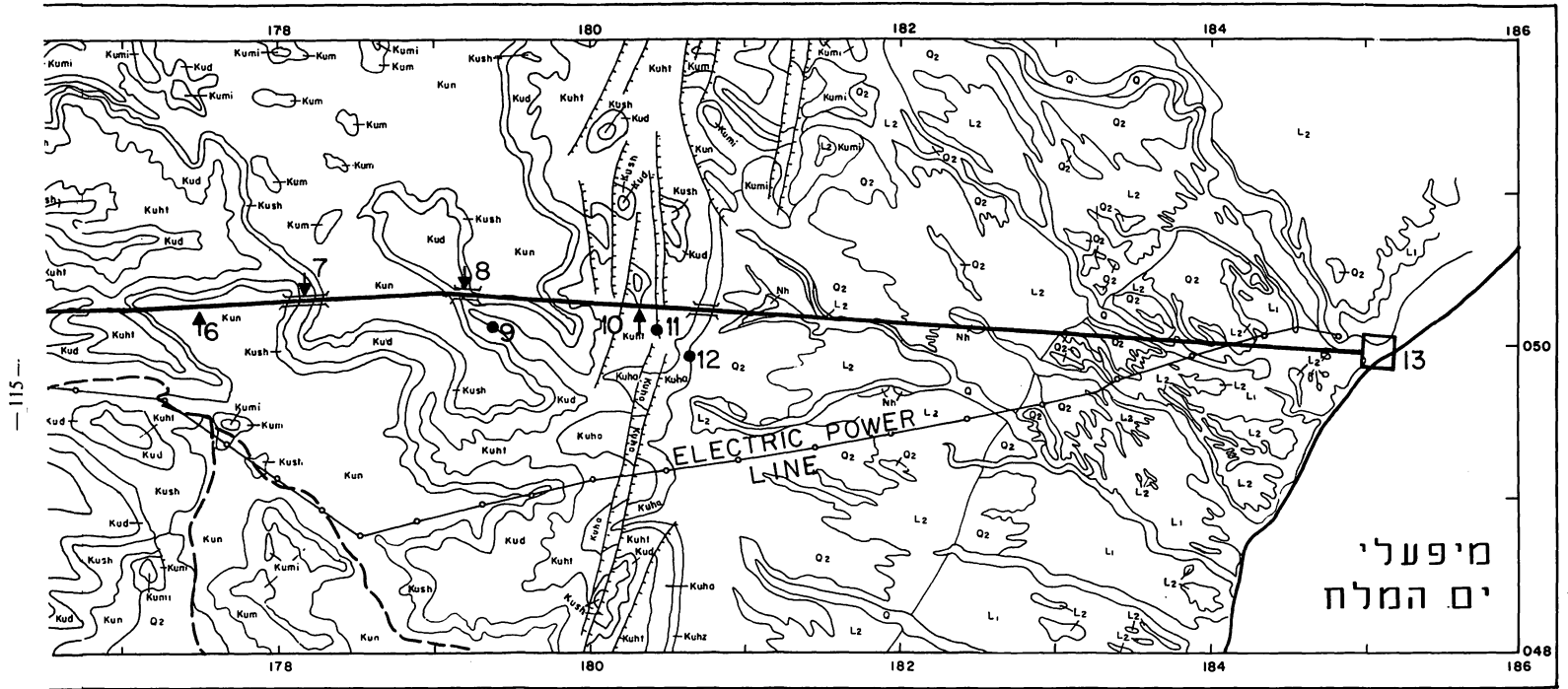
צילור 2a: מפה גיאולוגית לאורך תואי המסוע, ומיקום תחנות הסיור



LEGEND

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <p>Q Quaternary mainly recent outwash material &amp; alluvium</p> <p>Q1 Quaternary gravels &amp; pebble terraces in streambeds</p> <p>Q2 Quaternary gravel and pebble terraces and fanglomerate</p> <p>Q3 Quaternary sand dunes</p> | <p>L1 Quaternary Lisan laminated (lower) member</p> <p>L2 Quaternary Lisan white cliff (upper) member</p> <p>Nh Neogene Hazeva Fm sands</p> | <p>Kumi } Senonian Mishash Fm chert, porcellanite</p> <p>Kum } Menuha Fm chalk</p> |
|---|---|--|

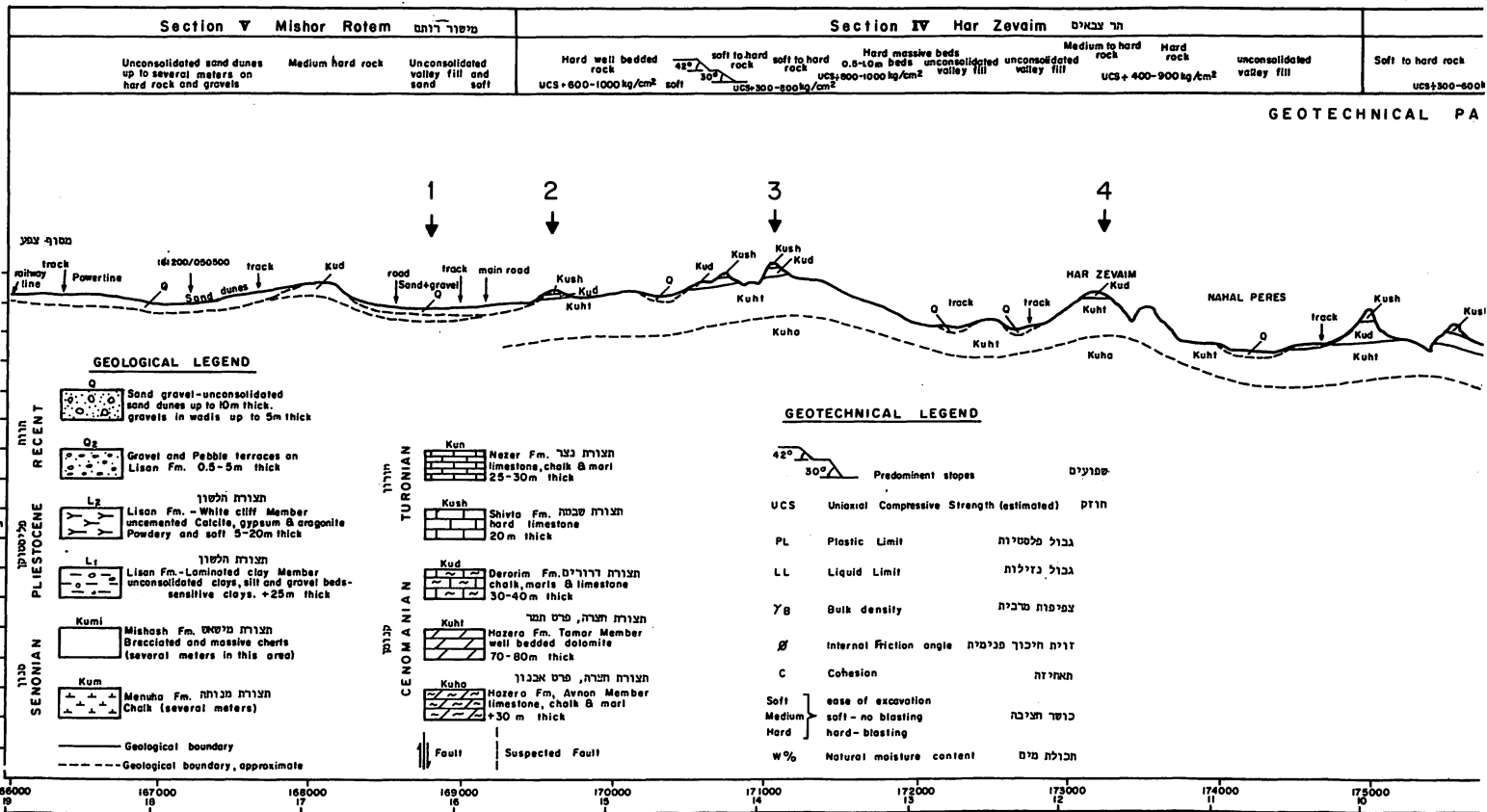
צילור 2b: מפה גיאולוגית לאורך תוואי המסוע, ומיקום תחנות הסיור.



מיפעלי  
ים המלח

|   |      |            |                              |                            |                              |      |              |           |                            |      |                     |              |                       |                     |      |                              |      |                              |                       |
|---|------|------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|------|--------------|-----------|----------------------------|------|---------------------|--------------|-----------------------|---------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|-----------------------|
| <table border="0"> <tr> <td style="font-size: 2em;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">Kun</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 10px;">} Turonian</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 10px;">Nezer Fm chalk &amp; limestone</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 20px;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 5px;">Kuht</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 10px;">} Cenomanian</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-left: 10px;">Hazera Fm</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">Kush</td> <td style="padding-left: 10px;">Shivta Fm limestone</td> <td style="padding-left: 10px;">Kuha</td> <td style="padding-left: 10px;">Tamar member dolomite</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">Kud</td> <td style="padding-left: 10px;">Derorim Fm chalk &amp; limestone</td> <td style="padding-left: 10px;">Kuhs</td> <td style="padding-left: 10px;">Avnon member chalk limestone</td> </tr> </table> | }    | Kun        | } Turonian                   | Nezer Fm chalk & limestone | }                            | Kuht | } Cenomanian | Hazera Fm | }                          | Kush | Shivta Fm limestone | Kuha         | Tamar member dolomite | }                   | Kud  | Derorim Fm chalk & limestone | Kuhs | Avnon member chalk limestone | Zafit member dolomite |
| }   | Kun  | } Turonian |                              |                            |                              |      |              |           | Nezer Fm chalk & limestone | }    | Kuht                | } Cenomanian | Hazera Fm             |                     |      |                              |      |                              |                       |
| }   | Kush |            |                              |                            |                              |      |              |           |                            |      |                     |              |                       | Shivta Fm limestone | Kuha | Tamar member dolomite        |      |                              |                       |
| }   | Kud  |            | Derorim Fm chalk & limestone | Kuhs                       | Avnon member chalk limestone |      |              |           |                            |      |                     |              |                       |                     |      |                              |      |                              |                       |

115

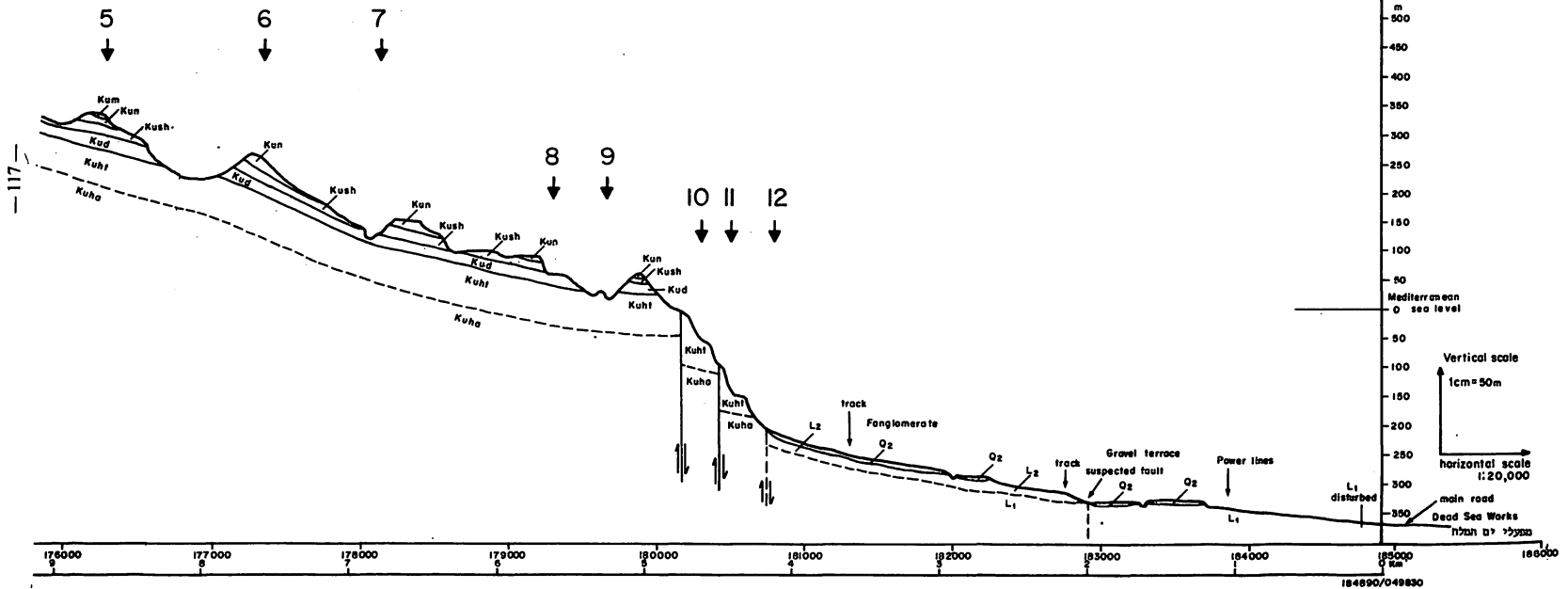


# CONVEYOR ALIGNMENT

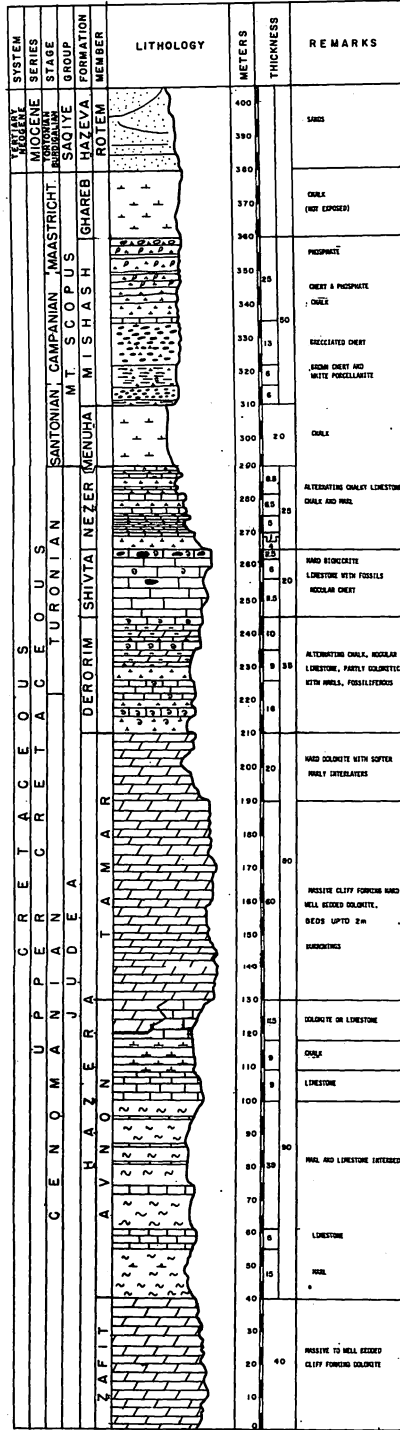
צילור 3b: חתך גיאוטכני לאורך תוואי המסוע ומיקום תחנות הסלור.

| Section III Hamarmor Highlands                                       | Section II Escarpment  | Section I Mishor Admon  |
|--|--|---|
| soft to hard rock<br>well drained<br>$ucs > 400-800 \text{ kg/cm}^2$ | medium to hard<br>$60-90^\circ$<br>$ucs > 400-800 \text{ kg/cm}^2$ | unconsolidated gravels<br>(0.5-3m)<br>on soft evaporites<br>and gravel beds soft<br>soft dry 25-50°<br>evaporites<br>(sandy)<br>soft<br>unconsolidated gravels<br>(0.5-1.0m)<br>on sensitive clays<br>badlands<br>PL=15-27<br>LI=25-35<br>w%=10 to 35<br>$\gamma_{sat} 1.83 \text{ g/cm}^3$ |
| wet highly sensitive clays<br>$c < 0.47 \text{ kg/cm}^2$             |  |   |

AMETERS



GEOLOGICAL COLUMNAR SECTION



BASE NOT EXPOSED

ציר 4: חתך גיאולוגי עמודי של הסלעים הנחשפים לאורך תוואי המסוע.

נעלמת בגלל האי-התאמה הפרה-סנונית.

חבורת הר הצופים (FLEXER, 1968)

חבורת הר הצופים בצפון הנגב ומדבר יהודה כוללת את תצורות מנוחה, מישאש, וע'ר.ב. האחרונה לא נחשפת כלל לאורך תואי המסוע. גושי קרטון וצור של תצורות מנוחה ומישאש ממלאים חללים קרסטיים במפלס אי-ההתאמה של בסיס חבורת הר הצופים, המגיעים עד לתוך הדולומיט של פרט תמר. במקומות מונח צור של תצורת מישאש ישירות על גבי תצורת שבטה הבלויה, או על שאריות של תצורות נצר ומנוחה.

תצורת מנוחה (KUM). עוביה 0-20 מ', וגיל סנטון:

התצורה נחשפת בעיקר בחלק המזרחי של תואי המסוע, וחסרה בחלק המערבי. התצורה בנויה קרטון לבן בשכבות מסיביות.

תצורת מישאש (KUMI). עוביה מגיע עד 50 מ', גיל קמפן:

התצורה בנויה צור, קירטון, פוספוריט ופורצלניט בשכבות בעובי 10-20 ס"מ, ונחשפת ברכסים הגבוהים.

@תצורת חצבה (Nh). עוביה מעל 25 מ', גיל נאוגן:

משקעים של תצורת חצבה חשופים במישור רותם. היא מורכבת בעיקר מחול, חרסיות, חלוקים וגיר אגמי.

חבורת ים המלח (זק, 1967) מגיל פליוקן - פליסטוקן:

חבורת ים המלח מהווה את עיקר המילוי של בקע ים המלח והיא המורכבת מסלעים קלסטים ואופוריטיים.

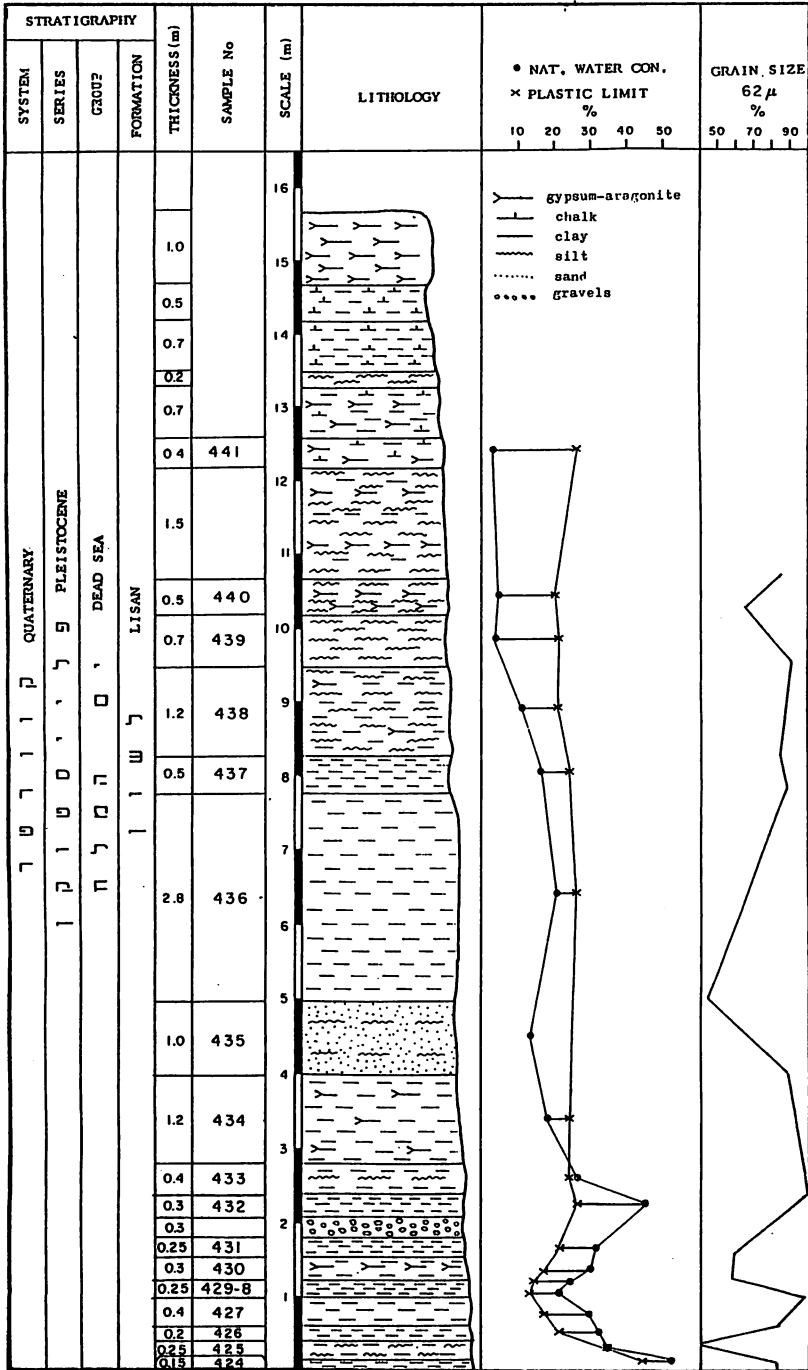
תצורת הלשון (L1, L2). עובי עד 60 מ', גיל פלייסטוקן (שרטוט 5):

באזור מפעלי ים המלח התצורה נחשפת בשני פאזיס (בגין ואחרים,

1974):

1) פאזיס קלסטי (L1) מאופיין על ידי שכבות דקות (למינות) של חרסית וטין קרבונטי, עם עדשות ושכבות ביניים של חלוקים ממוינים היטב ובלתי ממוינים. החלק החרסיתי מורכב בעיקרו מקאוליניט עם מעט

LISAN FORMATION COLUMNAR GEOLOGICAL SECTION



ציור 5: חתך גיאולוגי עמודי בתצורת הלשון.



מונטמורילוניט ואיליט במטריקס גירי בגודל גרגר טיני. החרסיות רגישות למים, בלתי יציבות וזרמות במצב רויה. המדרונות לרוב מכוסים בקרום קשה של אבק חרסיתי עם מלח, המגן על המדרון מפני ארוזיה. עובי היחידה למעלה מ-25 מ'.

(2) פאזיס אופוריטי (L2), מורכב מלמינות של ארגוניט פריך, בחילופין עם טין גירי ודולומיטי וחרסיות. תצורת הלשון בפאזיס זה בונה את המצוקים הלבנים הבולטים בשטח. הסלע מתבלה לאבק דק לבן המכסה את המדרונות. עובי מ-10-30 מ'.

בשתי היחידות מרובים כתמי לימוניט המצפים את מישורי הסידוק והשיכוב ומצביעים על תנועת מים בתוך החתך. קיימים בהן תרכיזים של פיריט וגפרית. התכונות הפיסיקליות והגיאוטכניות הטיפוסיות מוצגות בצירור 3B.

תופעות של קימוט והעתקה זעירה, המוגבלות לחבילה של למינות קיימות בחלקים שונים בחתך, ומצביעות על התכונות המכניות המיוחדות של הסלע (ARKIN AND MICHAELI, 1986).

טרסות חלוקים וסחף (Q1, Q2). גיל הולוקן:

אלו הם טרסות של חלוקים המונחים מעל תצורת הלשון ובונים את מניפות הסחף העתיקות. הם אינם מלוכדים, וקוטרם משתנה בין 15-20 ס"מ. כן מצויים גושי סלע המגיעים עד ל-50 ס"מ בתוך מטריקס בגודל גרגר טיני-חולי. במקומות מלוכדים חלוקים אלו ע"י אספלט.

עובי היחידה משתנה לאורך בסיס מצוק ההעתקים. בהתאם לתבליט, ממספר ס"מ עד ליותר מ-5 מ'.

סחף נחלים (Q). גיל הווה:

משקעים אלה מורכבים מחלוקים וגושי סלע ובמקומות מלוכדיה ע"י לס. סחף הנחלים נמצא בעיקר לאורך מסלולי הנקוז הנוכחיים.

דיונות חול (Q3). גיל הווה:

דיונות חול אלה מכסות חלקים נרחבים של מישור רותם ונמצאות מעל תצורת מישש ותצורת חצבה.

### פעילות סייסמוטקטונית.

תואי המסוע חוצה העתקים נורמליים שכוונם מקביל למצוק והם מלווים את ההעתק המערבי של בקע ים המלח. העתקים אלו הם עדויות לפעילות סייסמית המיוחסות להיווצרות הבקע. אירועים סיסמיים בהווה, שמוקדם בתוך ים המלח ולאורך הבקע הסורי-אפריקאי הגיעו לדרגות 5-6 בסולם ריכטר.

ההשפעה ההרסנית המשוערת של רעידות אדמה על המסוע היא בדרגת סבירות נמוכה. התאוצות המשוערות באזור המצוק הן בין 0.1G-0.3G, וזהו הערך המקובל באזור זה למטרות תכנון הנדסי.

### מסלול הסיור.

הנסיעה לאורך המסלול מוגבלת לרכב 4x4 נמוך. הכניסה היא ממסוף אפעה במישור רותם.

### תחנה 1: מסוף צפע (ציור 3A).

(הסברים על הקמת ותיפעול המסוף ינתן ע"י המהנדס גדעון כץ ממפעלי ים המלח). המסוף נמצא בקער אפעה. באזור זה נחשף חתך המכיל חול, חרסית וטיין של תצורת חצבה, ודיונות חול רצנטיות בגובה של עד 10 מ', שמקורם מבליה של שכבות החול בתצורת חצבה.

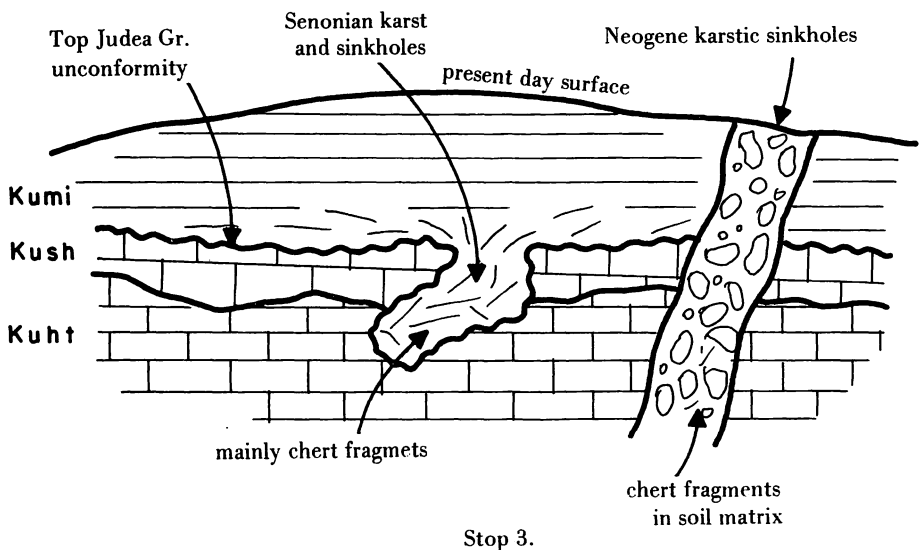
### תחנה 2: הליתולוגיה של תצורות דרורים ושבטה (ציור 3A).

המסוע חוצה גבעה נמוכה הבנויה מתצורות אלה. תצורת שבטה המצוקית בנויה שכבות מאסיביות של גיר דטריטי, לעיתים דולומיטי, דק גרגר (קלקאריט) ובתוכו קווארצוליט (הסלע המקורי הוחלף בגבישי קווארץ) עשיר במאובנים ותרכיזי צור. תצורת דרורים בנויה סלעי גיר, קרטון, דולומיט, פצלים וסלעי חוואר רכים ומגוונים, עשירים במאובנים גם הם.

בולטת החתירה בתצורת דרורים הרכה מתחת לתצורת שבטה הקשה יותר, אשר החלה עם חציבת הגבעה ונמשכת עד היום (טבלה מס' I), תופעה הגורמת להתמוטטות הגיר הקשה. בגבעות הסמוכות ניתן להבחין בתצורת מישאש המונחת ישירות על גבי תצורת שבטה באי-התאמה. תופעה זו המאפיינת את סגנון הקמוט של הקשת הסורית בסנון התחתון, וגרמה לחלק העליון של הקמרים להופיע כאיים (בן-תור ופרומן, 1951; HIRSCH AND HONIGSTEIN, 1987)

תחנה 3: בלועות קרסטיות (ציור 3A)


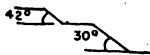









בלועות קרסטיות שכיחות מאוד בחלק העליון של סלעי חבורת יהודה לאורך תואי המסוע. תופעות אלו מצויות בדרך כלל במעבר שבין חבורות הר הצופים ויהודה. אפשר להבחין בשתי דורות שלהן, כאשר הבלועות הצעירות חוצות את העתיקות (ציור 6).



ציור 6: ציור סכמטי המראה את היחס בין שתי צורות הקרסט.

DEAD SEA WORKS CONVEYOR

TABLE I

| Section  | GEOTECHNICAL PARAMETERS  |  |   |   |  |
|--|--|--|---|---|--|
| <p><b>III</b></p> <p>Hamarmar<br/>Highlands<br/>רמת המרמר</p>                                  | <p><b>Kum</b></p>  Menuha Fm.<br>Chalk (several meters)   | <p>Predominant slopes</p>  <p>UCS: 60-250 kg/cm<sup>2</sup><br/>Soft</p> <p><b>Kun</b></p>  Nezer Fm.<br>limestone, chalk & marl<br>25-30m thick | <p>42° 30°</p> <p>medium hard rock<br/>UCS: 400-800 kg/cm<sup>2</sup><br/>well drained</p> <p><b>Kush</b></p>  Shivta Fm.<br>hard limestone<br>20m thick             | <p>42° 30°</p> <p><b>Kuhl</b></p>  Hazera Fm. Tamar Member<br>well bedded dolomite<br>70-80m thick | <p>UCS: 300-600 kg/cm<sup>2</sup><br/>soft to hard rock</p> <p>Soft } ease of excavation<br/>Medium } soft - no blasting<br/>Hard } hard - blasting</p> <p>UCS Uniaxial Compressive Strength (estimated)</p> |
| <p><b>IV</b></p> <p>Har Zeva'im<br/>הר צבאים</p>   | <p><b>Q</b></p>  Sand gravel-unconsolidated<br>sand dunes up to 10m thick.<br>gravels in wadis up to 5m thick   | <p>unconsolidated<br/>valley fill</p> <p><b>Kud</b></p>  Derorim Fm.<br>chalk, marls & limestone<br>30-40m thick  | <p>42° 30°</p> <p>soft to hard<br/>rock<br/>UCS: 300-800 kg/cm<sup>2</sup></p> <p><b>Kuhl</b></p>  Hazera Fm. Tamar Member<br>well bedded dolomite<br>70-80m thick | <p>Hard massive beds<br/>0.5-1.0m Beds<br/>UCS: 800-1000 kg/cm<sup>2</sup></p>  |  |
| <p><b>V</b></p> <p>Mishor<br/>Rotem<br/>מישור אדמון</p>  | <p><b>Q</b></p>  Sand gravel-unconsolidated<br>sand dunes up to 10m thick.<br>gravels in wadis up to 5m thick | <p>Unconsolidated<br/>valley fill and<br/>sand soft</p> <p>Unconsolidated sand dunes<br/>up to several meters on<br/>hard rock and gravels</p> <p><b>Kud</b></p>  Derorim Fm.<br>chalk, marls & limestone<br>30-40m thick       | <p>Medium to hard<br/>rock</p> <p>UCS: 400-900 kg/cm<sup>2</sup></p>  |   |  |
| <p><b>III, IV</b></p> <p>Hamarmar<br/>Highlands<br/>רמת המרמר<br/>Har Zeva'im<br/>הר צבאים</p> | <p><b>Kumi</b></p>  Mishash Fm.<br>Brecciated and massive cherts<br>(several meters in Section III & IV)      | <p>Soft } ease of excavation<br/>Medium } soft - no blasting<br/>Hard } hard - blasting</p> <p>hard rock</p>   |   |   |  |

טבלה 1: התכונות הגיאוטכניות לאורך תוואי המסוע, לפי אזורים גיאוגרפיים

בהמשך הדרך עוברים דרך עמק נחל אשלים שהוא אחד מהקערים המשניים של הנחיתה הצפונית של קמר חצרה.  
ניתן להבחין כאן בבלועות עתיקות הרוסות, המאופיינות ע"י ריכוז של שאריות גושי צור מישאש המונחים במפלסים סטרטיגרפיים שונים (תמונה 1).

תחנה 4: הקערים המשניים של הנחיתה הצפונית של קמר חצרה.

בסביבות גשר המסוע חשוף חתך של פרט תמר ותצורות דרורים ושבטה (ציור 3A, טבלה I).  
החלק העליון של פרט תמר בנוי מחילופין של דולומיט חום כהה ודולומיט חום בהיר.  
תצורת דרורים, בליתולוגיה דומה למתואר בתחנה 2, בונה מדרון תלול ומכוסה בטלוס דק גרגר.  
תצורת שבטה בנויה גיר דטריטי משוכב מסיבית והיא מאופינת בנוף ע"י מערות קרסטיות.  
המשך הדרך עוברת בעמק סינקלינלי המקביל לציר הקמר (SUBSEQUENT VALLEY) המפריד בין חלקה המזרחי והמערבי של רמת חמרמר.

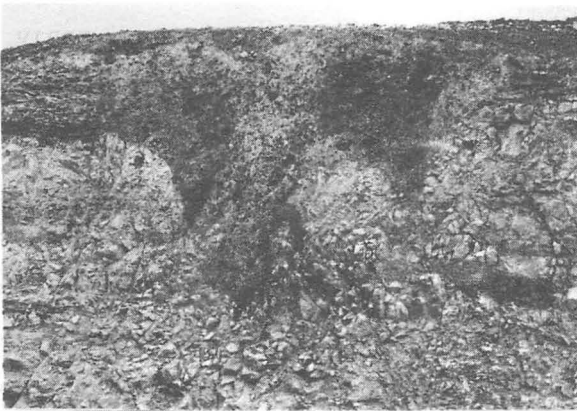
תחנה 5: בלועות, סדקים ומלוי סדקים (ציורים 3A, B).

חציבות לאורך תואי המסוע חשפו בלועות קרסטיות בחלק התחתון של תצורת מישאש המונחת ישירות על גבי תצורת שבטה. הם ממולאות בגושי צור וברסק המלוכד במקומות בחרסית אדומה (טרה רוסה). בתוך סדקים פתוחים המקבילים לפני המדרונות ניתן להבחין במילוי חרסית עם סימני SLICKENSIDES. פעילות הסדקים ע"י שיחרור מאמצים, גורמת להמשך התפוררות המדרונות גם כיום.

תחנה 6: סטרטיגרפיה של החלק העליון של חבורת יהודה (ציורים 3B, 4)



תמונה 1: מבט למזרח לאורך תוואי המסוע. החלק העליון של הרכסים בנוי מתצורת שכטה והמדרונות ע"י תצורת דרורים. הכתם השחור הוא שאריות צור מישאש על גבי החלק העליון של פרט תמר.



תמונה 2: בלועות קרסטיות עם מלוי של צור מישאש.

(ציורים 4, 3B).

מנקודת התצפית שבצד דרך העפר נראה חתך של פרט תמר בצבע חום, כשהוא משוכב היטב. פרט תמר, שעוביו 70-80 מ' מחולק כאן לשני חלקים. החלק התחתון, הבונה מצוקים בואדיות, מכיל דולומיט מסיבי בשכבות, של עד 2 מ'. החלק העליון בנוי שכבות בעובי 30-50 ס"מ של דולומיט, קרטון וחואר, המקנים ליחידה אופי רך תצורת דרורים מכילה גיר קרטוני, חואר ושכבות ביניים של גיר, עשיר במאובנים. במקומות ניתן להבחין בדולומיטיזציה של השכבות. היא בונה את החלק העליון של המדרונות המכוסים בדרך כלל בדרדרת כמויות גדולות של צור מישאש. תצורת שבטה מונחת על גבי תצורת דרורים ומורכבת מגיר מסיבי וליתוגרפי המכיל שכבות עשירות ברודיסטים. תרכיזי צירור נמצאים בחלק העליון של החתך. התצורה חשופה בדרך כלל בחלק העליון של המדרונות ובונה מצוקים עם מערות קרסטיות. עוביה כאן הוא ממספר מטרים עד 20 מ' (טבלה I).

שינוי העובי נובעים מארוזיה פרה-סנונית המלווה במספר תופעות ובהן:

- 1) תצורת מישאש מונחת ישירות על גבי תצורת שבטה.
- 2) תצורת מישאש מונחת על גבי רליקטים של גיר וקרטון של תצורת מנוחה ונצר.
- 3) בגג חבורת יהודה מצויות בלועות (SINKHOLES) עם מלוי של רסק צור המייצגים פליאוקרסט במישור אי ההתאמה.

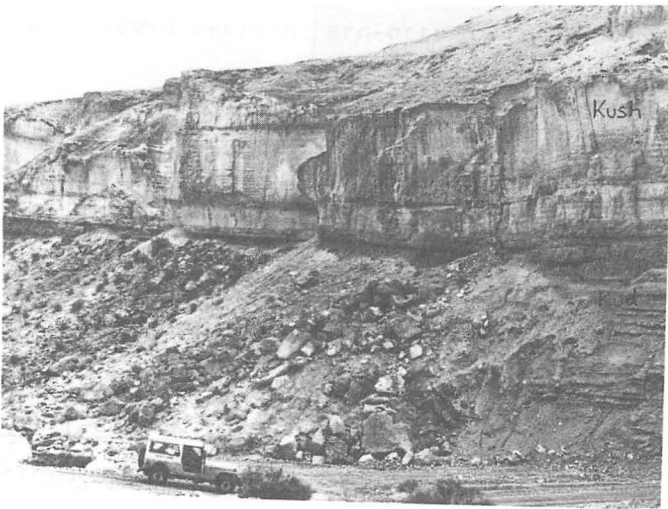
תחנה 7: מגע בין פרט תמר ותצורת דרורים

(ציורים 3B, 2B), (תמונה 3)

תצפית בואדי לכיוון צפון. כאן נראה מגע ברור בין פרט תמר ותצורת דרורים. שים לב לחלק העליון של פרט תמר המשוכב דק ורך יותר מאשר במקומות אחרים. ניתן להבחין באופי הקרסטי של תצורת שבטה המסיבית בחלק העליון של המדרונות.



תמונה 3: נחל אשלים - פרט תמר בעמק, המדרון החלק - תצורת דרורים והרכס - תצורת שבטה.



תמונה 4: מצוק של תצורת שבטה על גבי תצורת דרורים משוככת הליטב, בקניון נחל אדמון.



תחנה 8: קניון נחל אדמון (ציורים 3B, 2B, טבלה II)

המסוע עובר על גבי גשר באורך 189 מ' החוצה את נחל אדמון. בחלק התחתון של הקניון חשופה תצורת דרורים בצבעים צהובים וורודים. תצורת שבטה בונה את החלק העליון שצבעה צהוב בהיר, כאשר על גביה מונח חתך עבה של תצורת נצר שהיא בעלת אופי רך בנוף, ומורכבת מחילופין של גיר ליתוגרפי, קרטון ומעט חוואר משוכב היטב. המבנה הסינקלינלי נמצא בתוך מונוקלינה המשתפתלת מזרחה, בדומה לזה של נחל אשלים (תחנה 4), ומנוצלת על ידי המערכת ההידרוגרפית הקיימת.

תחנה 9: קניון נחל אדמון (תמונה 4), (ציורים 2B, 3B)

בתוך קניון נחל אדמון חשוף חתך של תצורת דרורים, משוכב היטב בצבעים צהובים, חומים וורודים. במקומות השיכוב דק עד למינארי וניתן להבחין בתופעות של סטרוקטורות העמסה (LOAD STRUCTURES). סטילוליטים ושרידי מאובנים נפוצים בסלע.

תחנה 10: סדקים פתוחים (ציורים 3B, 7)










תצפית בקיר החציבה: סדקים פתוחים עם מלוי של גושי דולומיט אשר נפלו לתוך הסדק. סדקים אלו שייכים למערכת סדקים רצנטים שנפתחו כתוצאה משחרור מאמצי מצוקים בשולי הבקע (ארקין, 1982; ARKIN, IN PRESS). ניתן כאן להבחין בצורה המורפולוגית של סדקים אלו בנוף הדומה לשקע של דייק נגטיבי. את כמות הפתיחה והעומק האפשרי של הסדק ניתן לחשב בשיטה פשוטה כפי שמתואר בציור 7.

תחנה 11: מצוק נחל אדמון ומצוק ההעתקים (ציורים 2B, 3B; טבלה II)

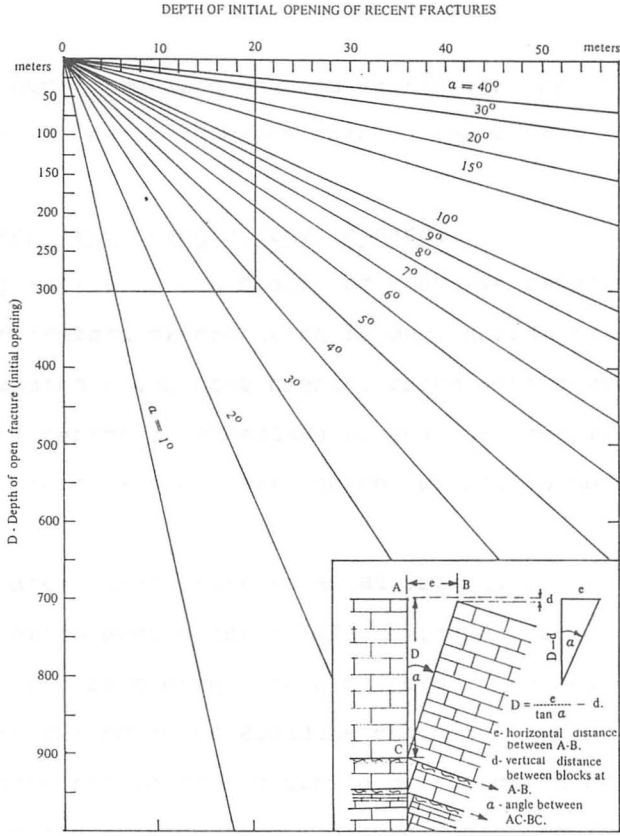
באזור זה מגיעים הפרשי הגובה עד 300 מ'. המצוק חתור ע"י קניונים עמוקים המובילים למישור אדמון. הסלעים החשופים הם בעיקר דולומיט מסיבי משוכב היטב של פרט תמר. הסלע סדוק ביותר ליד מישורי ההעתקה. הדולומיט של פרט תמר שנחצב כאן מנוצל לחצץ.

DEAD SEA WORKS CONVEYOR

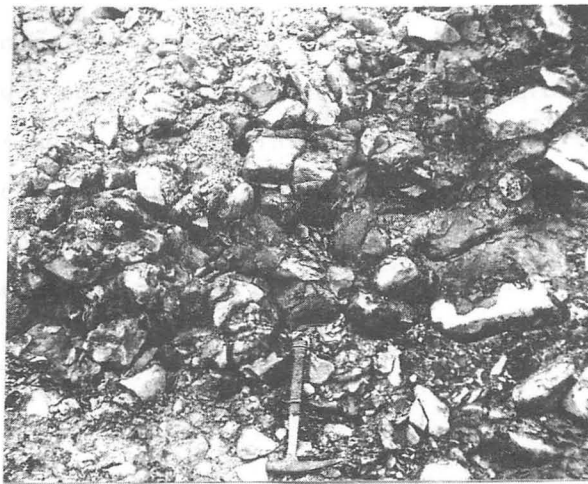
TABLE 2

| Section   | GEOTECHNICAL PARAMETERS   |  |
|---|---|--|
| <p><b>I</b></p> <p>Mishor</p> <p>Admon</p> <p>מישור אדמון</p> | <p><b>Q</b></p>  <p>Sand gravel-unconsolidated sand dunes up to 10m thick. gravels in wadis up to 5m thick</p> <p><b>Q<sub>2</sub></b></p>  <p>Gravel and Pebble terraces on Lisan Fm. 0.5-5m thick</p> <p>unconsolidated gravels on soft evaporites</p> <p><b>L<sub>2</sub></b></p>  <p>Lisan Fm. - White cliff Member uncemented Calcite, gypsum &amp; aragonite Powdery and soft 5-20m thick</p> <p><b>L<sub>1</sub></b></p>  <p>Lisan Fm. - Laminated clay Member unconsolidated clays, silt and gravel beds-sensitive clays. +25m thick</p> <p>PL=15-27<br/>LL=20-30<br/>w% = up to 35<br/><math>\gamma_B = 1.89 \text{ g/cm}^3</math><br/>C=0.47 kgf/cm<sup>2</sup><br/><math>\phi \geq 20-32^\circ</math></p> <p>soft dry 25-30°<br/>evaporites (powdery) soft</p> <p>wet highly sensitive clays 30°</p> <p>PL Plastic Limit<br/>LL Liquid Limit<br/><math>\gamma_B</math> Bulk density<br/>C Cohesion<br/><math>\phi</math> internal friction angle</p> | <p>soft dry 25-30°<br/>evaporites (powdery) soft</p> <p>wet highly sensitive clays 30°</p> <p>PL Plastic Limit<br/>LL Liquid Limit<br/><math>\gamma_B</math> Bulk density<br/>C Cohesion<br/><math>\phi</math> internal friction angle</p>   |
| <p><b>II</b></p> <p>Escarpmnt</p> <p>מצוק ההעתקים</p>         | <p><b>Kun</b></p>  <p>Nezer Fm. limestone, chalk &amp; marl 25-30m thick</p> <p><b>Kush</b></p>  <p>Shivta Fm. hard limestone 20m thick</p> <p><b>Kuhl</b></p>  <p>Hazera Fm. Tamar Member well bedded dolomite 70-80m thick</p> <p><b>Kud</b></p>  <p>Derorim Fm. chalk, marls &amp; limestone 30-40m thick</p> <p><b>Kuha</b></p>  <p>Hazera Fm. Avnon Member limestone, chalk &amp; marl +30 m thick</p> <p>Soft } ease of excavation<br/>Medium } soft - no blasting<br/>Hard } hard - blasting</p> <p>42°<br/>30°</p> <p>UCS+400-800 kg/cm<sup>2</sup><br/>soft to medium</p>   | <p>60-90°</p> <p>UCS+400-800 kg/cm<sup>2</sup><br/>medium to hard</p> <p>Soft } ease of excavation<br/>Medium } soft - no blasting<br/>Hard } hard - blasting</p> <p>42°<br/>30°</p> <p>UCS+400-800 kg/cm<sup>2</sup><br/>soft to medium</p> |

טבלה 2: התכונות הגיאוטכניות לאורך תוואי המסוע לפי אזורים גיאוגרפיים.



צילור 7: חישוב עומק הפתיחה של סדקים צעירים.



תמונה 5: טלוט מלוכד עייל חומר בטומיני (אספלט).

בחלק העליון של מצוק ההעתקים מצויים גיר רך וגיר חווארי של תצורת דרורים. באזור זה תצורת דרורים נוחה לחציבה.

תצפית לאורך מצוק ההעתקים ובקע ים המלח:

לכיוון צפון ניתן לראות מבנה של כיפה אשר בגלעינה מתגלות תצורות שבטה ונצר ובאגפים תצורות מנוחה ומישאש. המבנה נמצא בתוך המדרגה הראשונה שממזרח להעתק הבקע המערבי. למזרח ניתן לראות את אגן הלשון ואת הניקוז המבוטר (ה-BADLANDS) של סלעי תצורת הלשון. באופק מפעלי ים המלח, ברכות האידוי והמצוק המזרחי של בקע ים המלח.

תחנה 12: מישור אדמון (צוירים 2B, 3B טבלה II).

הפרשי הגובה משתנים כאן מ-350 מ' (מתחת לפני ים התיכון) עד ל-200 מ' ליד בסיס מצוק ההעתקים העיקרי במערב. במחשופי תצורת הלשון קיים כאן תבליט של BADLANDS טרסות המונחות על גבי תבליט זה בגדות הנחלים בנויות חלוקים בגדלים שונים. תצורת הלשון (L1) מכילה במקומות חרסיות רגישות למים. חילחול המים בתקופת הגשמים מביא לתפיחת החרסית ולזרימת בוץ. המדרונות מכוסים קרום קשה של מלח וחרסית בעובי של 2-3 ס"מ המחפה על המדרון ושומר על תכולת המים הטבעיים של הסלע מפני אידוי.

באזור ההעתק המערבי של בקע ים המלח, יש במקומות דרדרת וטלוט מלוכד על ידי אספלט וחומר ביטומני (תמונה 5).

ככיוון צפון ניתן להבחין בסידוק הצפוף המלווה המצוק, ומקורה בשחרור מאמצים במצוק והטית בלוקים לעבר הבקע, תופעה זו מוכרת בספרות כ- TOPPLING.

תחנה 13: ביקור במפעלי ים המלח. (מודרך ע"י ב. גרשגורן, מפעלי ים

המלח).

סיור מס' 8 - ים המלח ומפעלי ים המלח

מ. בייט\*, י. לוי\*, א. גבריאלי\*\*

\* המכון הגיאולוגי, ירושלים

\*\* המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים

מבוא

ים המלח הינו אוצר הטבע הגדול ביותר של מדינת ישראל ומופקים מתמלחותיו אשלג (KCl), תחמוצת מגנזיום (MgO) וברום (Br<sup>-</sup>) ע"י מפעלי ים המלח, מפעלי הפריקלז ומפעלי הברום. מטרת הסיור היא להכיר את תזרים התמלחות של מפעלי ים המלח ותהליכי המיצוי של המלחים השונים. כמו כן תוסבר הכימיה של מי ים המלח המהווים את חומר הגלם.

במהלך הסיור נראה את תחנת השאיבה ותעלת ההזנה של תמלחות ים המלח, נצפה בבריכות השקעת ההליט של מפעלי ים המלח והמפעלים הירדניים, נראה את איי ההליט (פטריות המלח) בבריכה 5, נערוך ביקור בבריכות הקרנליט, בדוברות הצפות ובמתקנים למיצוי האשלג מהקרנליט במפעלי ים המלח. נסיים בסיור לאורך הסכר המזרחי ומשם נצפה בשוליים המזרחיים של בקע ים המלח באזור צפי, ונעקוב אחר זרימת התמלחת הסופית ומערכות הסכרים. משתפי הסיור מתבקשים להצטייד במשקפות.

תהליכים הידרוגרפיים וגיאוכימיים עכשוויים בים המלח

בחודש ספטמבר 1987 מפלס מי ים המלח היה 404.8 - מטר מתחת למפלס מי הים התיכון.

המפלס השתנה עשרות מטרים מאז המאה השתיים עשרה ובקרוב לשמונה מטרים במשך 25 השנים האחרונות. בחודש מרץ, בעקבות זרימת מי הירדן ומי השטפונות, מופיע בדרך כלל מפלס גבוה. המפלס יורד החל מחודש אוגוסט, והמינימום השנתי הוא בתחילת עונת הגשמים, בדרך כלל בחודש נובמבר. תחום התנודות השנתי הוא בסביבות 0.5 מטר.

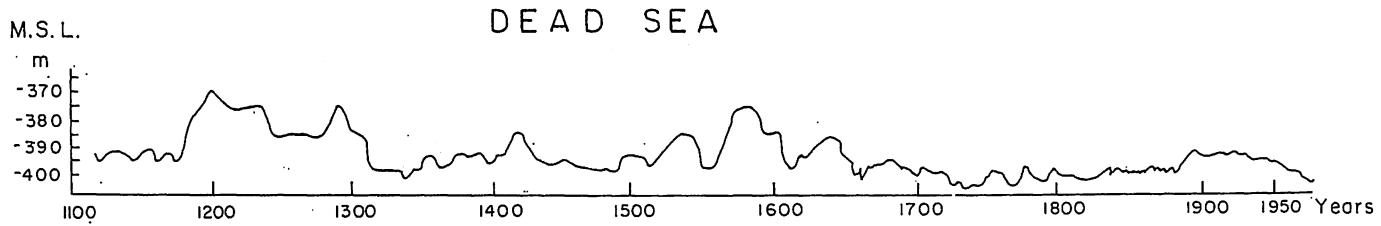
השפעת כמות המשקעים היורדת על אגן ההקוות של ים המלח על תנודות מפלס הים, מאז המאה השתיים עשרה, נחקרה ע"י קליין (KLEIN, 1981). נמצא מיתאם טוב בין הכמות הממוצעת של הגשם בירושלים לבין מפלס ים המלח מאז מחצית המאה התשע עשרה. על ידי שימוש בספירת טבעות גידול בעצים, כנתון המשקף את כמות הגשם שירדה בעבר, ומדידות שיטתיות של מפלס ים המלח מאז 1928, שוחזרו השינויים בגובה פני ים המלח מאז שנת 1100 ועד 1980 (ציור 1).

בשנים בהן כמות הגשמים היתה ממוצעת, שמר ים המלח על מפלס קבוע (KLEIN 1981), אך במשך שנות בצורת הוא ירד. מאז הטיות מי הירדן ומי הירמוק החל משנות השישים, יורד המפלס בהתמדה, גם בשנים בהם כמויות הגשם ממוצעות. רק בשנים בהן כמויות הגשם גדולות מהממוצע הרב-שנתי עולה מפלס ים המלח, לדוגמא: ב-1979/80, בשיעור של כ-1.4 מטר (LEVY, 1980 A).

בתחילת שנות הששים נמצא כי עמודת המים בים המלח משוככת (NEEV AND EMERY, 1967). גוף מים עליון מחול יחסית צף על גוף מים תחתון מרוכז יותר. השיכוב גרם לירידה בריכוז החמצן המומס וליצירת מימן גפריתי בגוף המים התחתון.

בתנאים המחזרים ששרו בגוף המים התחתון חוזרו גם המנגן וגם הברזל לדרגת חימצון נמוכה. באותה תקופה היה גוף המים העליון בלתי רווי להליט ולכן לא התגבש הליט על פניו. לעומת זאת היו אירועים אחדים של התגבשות ארגוניט על פני המים (הלבנות) וגוף המים העליון היה גם רווי ביתר לגבס. באותה תקופה שקע גבס בכמות רבה לאורך החוף ועל עצמים שטבלו באזורי האגם הרדודים.

מיהול גוף המים העליון נשמר ע"י זרימת מי הירדן, ומי הנחלים היורדים לאגם. החל משנת 1965 עם הטית מי הירדן, קטנו נפחי המים השנתיים הזורמים לים המלח. כתוצאה מכך, ומתהליך ההתאדות, התרכזו והלכה שכבת המים העליונה בד בבד עם ירידת המפלס. התהליך נמשך ברציפות, להוציא בשנים גשומות ביותר בהן היתה עליה קצרת מועד במפלס. ההיפוך שהתחולל ב-1979, והביא להיווצרות עמודת מים הומוגנית מפני השטח ועד לקרקעית האגם (בייט, 1980), נגרם ע"י העליה ההדרגתית במליחות (ובצפיפות) של מי גוף המים העליון.



ציור 1 - שינוי מפלסי ים המלח בשנים 1100 ל-1980 לפי קליין, 1981.

ד. ניב (דברים בע"פ) גורס כי בחודש נובמבר 1962, עם תחילת התקררות החורף, חל עירבול של שני גופי המים העליונים, ונוצרה עמודת מים הומוגנית עד לעומק 70-80 מ' (בערך 470-). לפיכך השתנו יחסי היונים של המלחים המסיסים בגוף המים המאוחד בהשוואה למצב שלפני האירוע. הסדר היורד של הקטיונים (מגנזיום, נתרן, סידן ואשלגן) נשמר אולם בהשוואה לתכולה בגוף המים העליון, עלה באורח משמעותי ריכוזם של יוני המגנזיום, האשלגן, הכלור והברום ואילו ריכוזי הנתרן והסולפט נשארו פחות או יותר כפי שהיו.

צמצום אספקת מי הירדן לים המלח הקטין את אספקת הקרבונט והסולפט לאגם. הדבר התבטא בהפסקת השקיעה של הארגוניט, ומאז אמצע שנות הששים לא נצפתה תופעת הלבנה בים המלח. כן לא שקע גבס למרות היותו ברווית יתר במי האגם. החומר בתרחיף והחומר שנאסף במלכודת נמצא חופשי מגבס והכיל תרסיות וקרבונטים דטריטיים. ההתאדות גרמה לריכוז יתר של המלחים המומסים ולרוויה של מי האגם בהליט, אשר התגבש על פני המים בצורת מושבות של קוביות המתהפכות ושוקעות בעמודת המים אל הקרקעית (לוי, 1987).

משקל היונים המומסים בים המלח הוערך בכ-43.8 מיליון טון מלחים (NEEV AND EMERY, 1967).



טבלה מס' 1 מביאה את ההרכב הכימי הממוצע, שהיה בשנים 1959/60 בגופי המים השונים לפני ההיפוך כפי שתוארו ע"י ניב ואמרי (1967), וסוכמו ע"י בייט (1980).

טבלה 1 - הרכב כימי ממוצע (גר/ליטר) של גופי המים

באגן הצפוני של ים המלח במשך 1959/60

| *T.D.S. | Br-  | Cl-   | K+   | Na+  | Ca++ | Mg++ |               |
|---------|------|-------|------|------|------|------|---------------|
| 299.9   | 4.60 | 196.9 | 6.50 | 38.5 | 16.3 | 36.1 | גוף מים עליון |
| 319.3   | 5.15 | 210.6 | 7.15 | 38.4 | 16.6 | 40.5 | גוף מים אמצעי |
| 332.1   | 5.27 | 219.2 | 7.60 | 39.7 | 17.1 | 42.4 | גוף מים תחתון |
| 322.1   | 5.12 | 212.4 | 7.26 | 39.1 | 16.8 | 40.6 | ממוצע         |

\*סה"כ מלחים מסיסים

ההרכב הכימי הממוצע של התמלחות שנדגמו ב-14 תחנות באגן הצפוני במשך חודש מרץ 1977 (BEYTH, 1980) מובאות בטבלה מספר 2. כן מובאות בטבלה זו ההרכב הכימי באגן הצפוני על פי מספר דוגמאות שנדגמו לאורך עמודת המים בחלקו הדרומי בשנת 1984 (גבריאלי, 1987).

טבלה 2 - הרכב כימי ממוצע (גר/ליטר) של תמלחות מהאגן

הצפוני שנדגמו במרץ 1977 וב-1984

| שנה  | T.D.S. | Br-  | SO <sub>4</sub> -- | Cl-   | N+   | Na+  | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | DSH* | DSG** |
|------|--------|------|--------------------|-------|------|------|------------------|------------------|------|-------|
| 1977 | 339.6  | 5.30 | 0.45               | 244.9 | 7.65 | 40.1 | 17.2             | 44.0             |      |       |
| 1984 | 340.2  | 5.47 | 0.46               | 225.2 | 7.82 | 38.8 | 16.9             | 45.0             | 0.94 | 1.63  |

\*דרגת רוויה להליט מחושבת ב-35°C.

\*\*דרגת רוויה לגבס מחושבת ב-25°C.

תמלחת ים המלח הינה תמלחת Ca-כלורידית (סטרינסקי, 1974) שבה ריכוז הסולפט אינו עולה בדרך כלל על 0.5 גר'/ליטר וריכוז ה-Br<sup>-</sup> הוא כ-5 גר'/ליטר. הריכוז היחסי של הקטיונים הוא בסדר יורד כדלקמן: מגנזיום, נתרן, סידן, אשלגן. השוואה בין מקדמי ההעשרה שלהם, ב-1977 לעומת 1959 הראתה שהליט שקע ממי ים המלח במשך תקופה זו. מתוך הנחה שהיחס בין ריכוז המגנזיום ב-1977 לריכוזו ב-1959 משקף את דרגת ההעשרה של יון זה במי ים המלח כתוצאה מאיוד במשך 18 שנה, חושב יחס זה והוא שווה ל-1.08. היחס בין ריכוזי הנתרן באותו זמן היה 1.02 בלבד, והוא מראה כי נתרן הופרד מהתמלחת במשך התקופה הנדונה ושקע כהליט. אינדיקציה נוספת לשקיעת מלח באותה תקופה היא הירידה ביחס האקווילונטי של נתרן לכלור מ-0.285 בשנת 1959 ל-0.275 ב-1977 (LEVY, 1980B). אנליזות כימיות של דגימות שנלקחו בתחנות שונות באגן הצפוני בחודשים יוני, ספטמבר ודצמבר 1979 (LEVY, 1980A) מראות כי במשך התקופה מיוני עד ספטמבר 1979 לא היה שינוי מהותי בהרכב הכימי של מי ים המלח, ועמודת המים ההומוגנית עדיין התקיימה. השפעת המיהול של מי השטפונות נמצאה בשלושים המטרים העליונים, אבל נמצא שיחסי היונים היו קבועים בכל עומק עמודת המים ואילו ריכוז המלחים היה קבוע בעומק של יותר משלושים מטר.

תחנות הסיור

תחנה מס' 1 - תחנת שאיבה P7

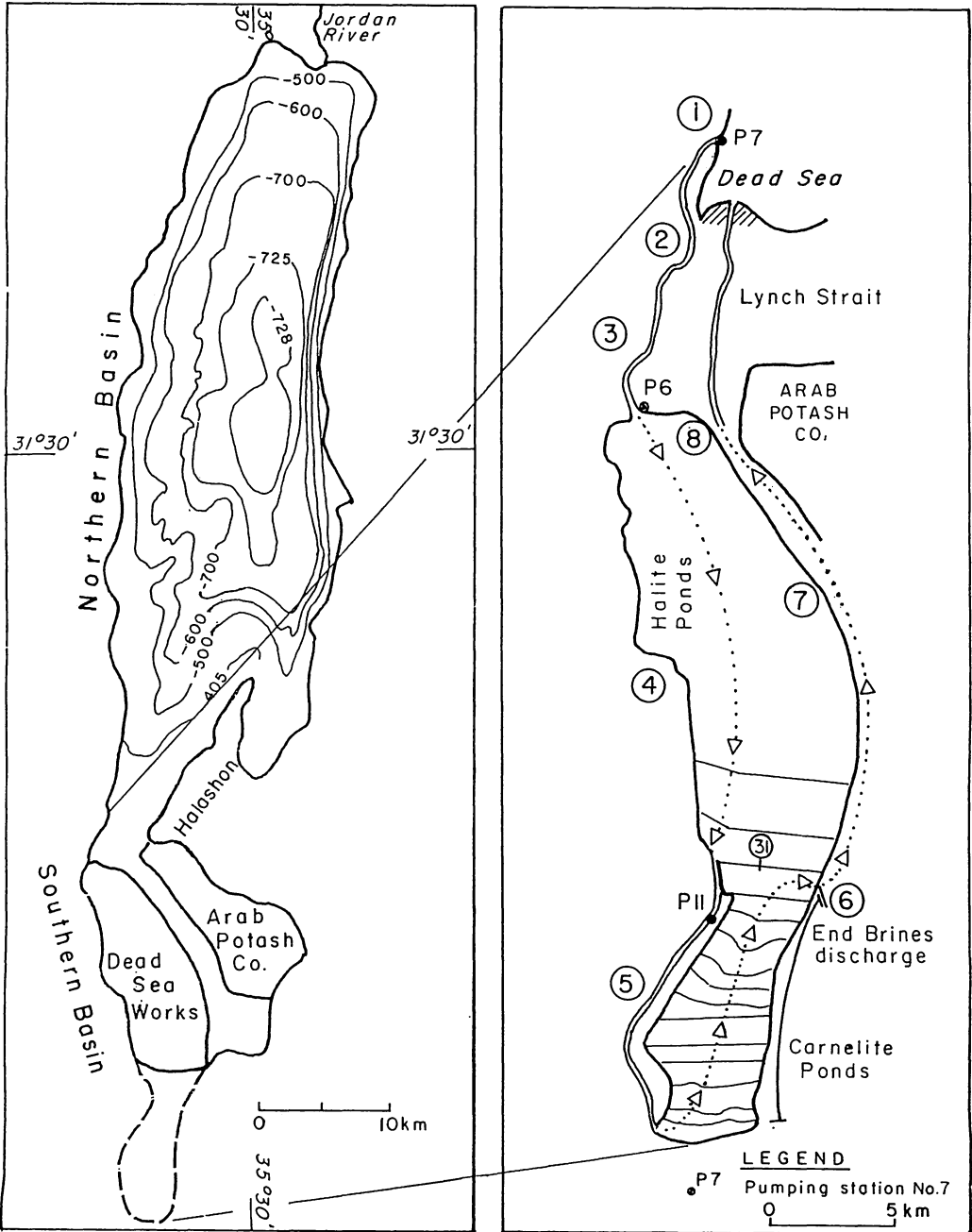
בצד הישראלי נשאבים כיום כ-200 מיליון מטרים מעוקבים לשנה של מי ים המלח בתחנת השאיבה P-7 מול מצדה, ומוזרמים בתעלת הזנה אל בריכה 5 (ציור 2) שהיא בריכת האידוי הראשונה. מבריכה זו זורמים המים דרך מספר בריכות אידוי נוספות תוך שהם משקיעים חליט וקרנליט ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). הקרנליט "נקצר" בעזרת דוברות צפות ומועבר למפעלים להפקת אשלג ואילו מחלק מהתמלחות המרוכזות מפיקים ברום ותחמוצת מגנזיום. בגמר תהליך האידוי ושקיעת המלחים מוחזרות התמלחות הנוותרות, המכונות "תמלחות סופיות", לים בכמות של כ-100 מיליון מטר מעוקבים לשנה, תמלחות אלו הן בעלות צפיפות גבוהה והרכב השונה במידה ניכרת ממי ים המלח (ציור 3).

תחנה מס' 2 - מתקן ניקוז מי השטפונות בנחל רחף

מתקן ניקוז מי השטפונות בנחל רחף הוא מתקן הנדסי יחודי בהיותו בנוי מעל לתעלת ההזנה. השטפונות של ה-18 באוקטובר 1987 פרצו את סכרי העפר אשר נועדו לחגן על התעלה ומי השטפונות חדרו וזרמו בתעלה "במעלה הזרם" אל תחנת השאיבה P-7 וגרמו שם לנזקים כבדים.

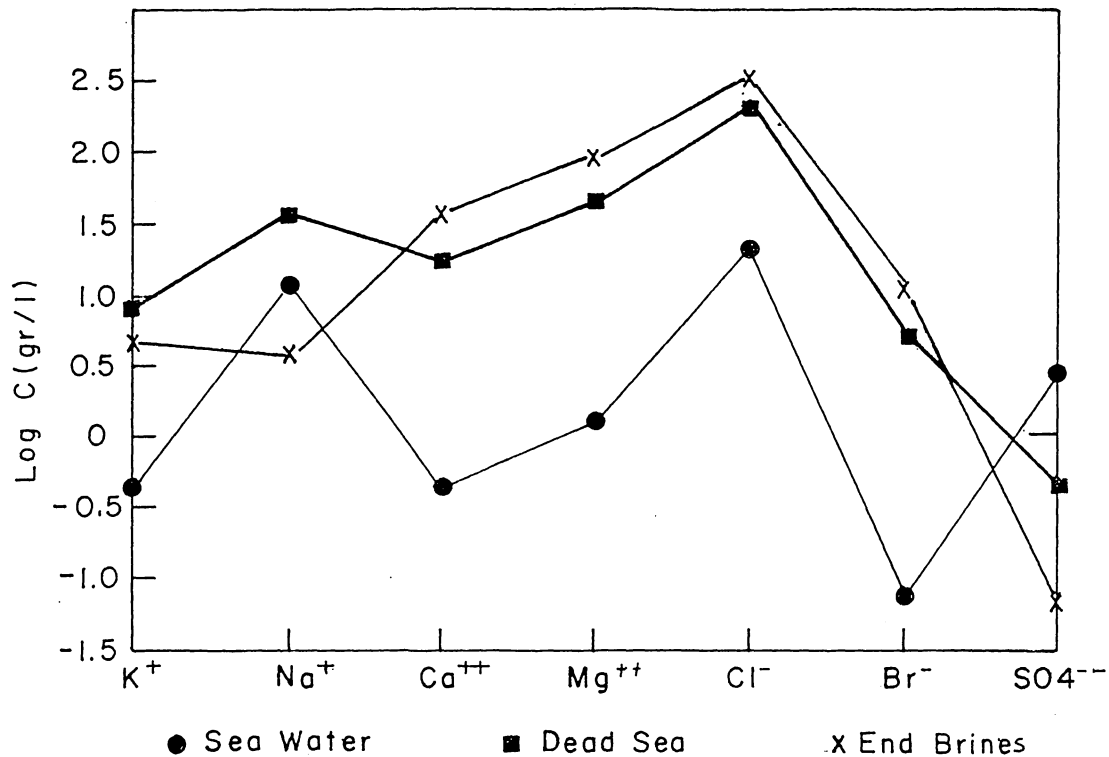
תחנה מס' 3 - תצפית לדרום-מזרח, לאגן הדרומי של ים המלח

החל משנת 1977 יבש האגן הדרומי בעקבות ירידת מפלס ים המלח. מצב דומה היה קיים במאה השנייה לספירה וב-1818 כאשר דווח על דרך שירות פעילה בין הרי מואב להרי יהודה אשר עברה במצרי לינץ' (KLEIN 1981). באגן הדרומי מרוכזות בריכות האידוי של המפעלים. במערב נראות הסוללות של בריכה - 5 אשר בקרקעיתה שוקע הקרנליט. במזרח נמצאות הסוללות של בריכת המפעלים הירדניים. בין שתי הבריכות מצויה התעלה המנקזת את מי השטפונות ומי התמלחות הסופיות.



ציור 2 - מפה בטימטרית של ים המלח ומפת תזרים התמלחות של מפעלי ים המלח.

כיוון הזרימה של התזרים... תעלת הזנה



ציר 3 - ההרכב הכימי של תמלחות מי ים המלח בהשוואה למי האוקיאנוסים והתמלחות הסופיות.

תחנה מס' 4 - איי הליט בבריכה 5 (החבר בשטח יינתן ע"י מ. טפרברג)

בבריכה-5 נוצרו בשנים האחרונות גופי מלח אנכיים הבולטים, בעונת הקיץ, מעל פני התמלחת. גופי מלח אלה מופיעים כאיים קוניים וכפטריות בודדות המתחברים במקומות, לסוללות ארוכות. האיים אינם מפוזרים באקראי בשטח, אלא מרוכזים ברובם במרכז הבריכה בקרבת תעלות, בורות ושקעים אחרים בקרקעית.

יצירתם של האיים מוסברת על ידי שני מנגנונים בלתי תלויים זה בזה (כך וחבריו, 1987):

1. בשקעים הטופוגרפיים (ובבורות), שבקרקעית האגם מצטברת תמלחת כבדה שנוצרה בתהליכי איוד רגילים.

שקעים אלו הופכים ל"בורות סולריים", מימיהם מתחממים ע"י קרני השמש וממיסים יותר הליט מאשר התמלחת הקרה יחסית שבסביבתם ומעליהם. מידי פעם עולה הטמפרטורה בשקעים מעבר לנקודת שוויון הצפיפויות, או שחל קירור של החלק העליון של עמודת המים, ואז קורה ערבוב של מי הבורות עם מי הסביבה. המים שעולים מן הבורות מתקררים, ובעקבות זאת משקיעים את עודף ההליט המומס (שמקורו בבורות) בסביבתם הקרובה. בדרך זו נוצרים גופי מלח עובריים קטנים המגיעים לגובה של כמה עשרות ס"מ מעל הקרקעית. אלו מהווים אתרי התגבשות מועדפים לשלב הגידול הבא.

2. מי האגן הצפוני של ים המלח, המוזרמים לבריכה-5, יוצרים עקב צפיפותם הנמוכה (יחסית לתמלחת בבריכה 5) גוף מים משוכב. בגבול בין שתי השכבות, שעומקו תלוי במשטר ההזרמה ובעונת השנה, חל ערבוב בין שתי התמלחות, המלווה בתופעת של OUTSALTING מאסיבית של הליט. על הרויה המירבית של התמלחת ביחס להליט מצויה בחלק העליון של עמודת המים-לכך נוסף (בעיקר בקיץ) אפקט הריכוז של מי השטח בגלל התאדותם. קצב הגידול של גופי המלח העובריים מואץ עם הגיעם לשכבות הגבוהות יותר של התמלחת, בעיקר באיזורים של מרכז הבריכה. בצפון הבריכה הקרקעית עמוקה יותר כך שהאפקט הסולרי לא בא לידי ביטוי. ריכוז האיים העובריים נמוך בהרבה מאשר במרכז הבריכה, ורוב הגבישים המתגבשים במפגש בין שתי התמלחות שוקעים אופקית על קרקעית הבריכה. לדרום הבריכה מגיעה תמלחת מדולדלת יחסית בהליט, מכיון שרוב ההליט שקע בדרך בצפון ובמרכז הבריכה. קצב גידול האיים באיזור זה נמוך ובשולי הבריכה הדרומים שהינם אזורים חסרי איים (טפרברג בע"פ).

לעומתם גורס חרש (CHARRACH, 1986) כי איי ההליט מרוכזים לאורך מערכות סידוק אשר נוצרו בעקבות רעידת האדמה מה-23 באפריל 1979. פתיחתם של הסדקים אפשרה הלחול כלפי מעלה של תמלחות שארתיות, רוויות מלח מתת הקרקע אל תוך בריכה-5. מפגש תמלחות אלה עם התמלחת עשירת ה-MgCl<sub>2</sub> אשר בתוך בריכת האידוי גרמה ל-OUTSALTING - גיבוש מהיר של מלח מהתמלחת הרוויה. חרש מציינ כי קיימות תופעות דומות גם בבריכות האידוי הירדניות. ואילו נור וכן אברהם (דברים בע"פ) גורסים כי מתהווה תהליך שבו שכבות מלח שבתת הקרקע של בריכה-5 מומסות בלחץ ועולות דרך סדקים ושברים.

תחנה מס' 5 - ביקור במפעלי ים המלח ( החסבר במפעל ינתן ע"י ב. גרשגורן  
מפעלי ים המלח)

החסבר המצורף לקוח מתוך פרסומים של מפעלי ים המלח. במתקנים של מפעלי ים המלח בסדום מפרקים את הקרנליט המגיע בתמיסה מוצקה יחד עם הליט מהדוברות הצפות. המגנזיום כלוריד, המהווה מרכיב של הקרנליט, מומס במים ומופרד מהאשלגן הכלורידי (SYLVINITE). תהליך ההפרדה בין הנתרן הכלורידי לאשלגן הכלורידי בתערובת הנותרת, ומיצוי האשלגן מתבצע במפעלי ים המלח בשלושה מיתקנים.

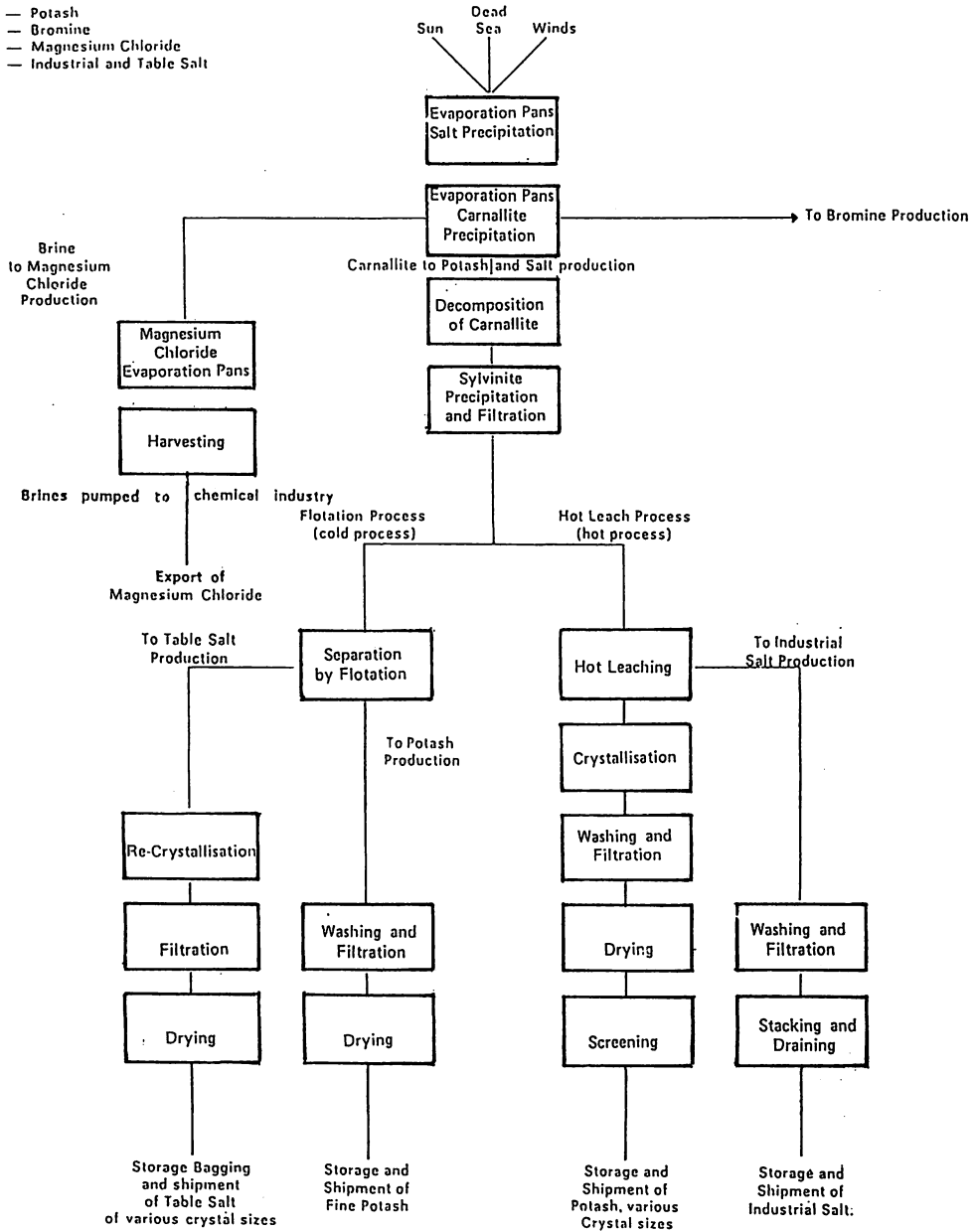
- (1) במתקן הישן ההפרדה היא בשיטת הפלוטציה.
  - (2) במתקן השני ההפרדה מבוססת על מסיסות מועדפת של אשלגן כלורידי לעומת נתרן כלורידי בתמלחות בטמפרטורות גבוהות.
  - (3) במפעל מקלף, שהוא המתקן החדשני.
- האשלגן המתקבל עובר סינון ושטיפות בהתאם לנדרש במתקנים השונים.  
(ציוור 4).

תחנה מס' 6 - דרום האגן הדרומי (החסברים לאורך הסכר המזרחי ינתנו בחלקם ע"י  
ב. גרשגורן מפעלי ים המלח).

באזור המוצא של התמלחות הסופיות מבריכה-31 אל תעלת הניקוז ניתן לראות גבישי הליט וקרנליט במשקעים באזור השפך של התמלחת הסופית אשר ריכוזה מגיע לכ-500 גר'/ליטר, וצפיפותה לכ-1.345 גר'/ס"מ מעוקב. הרכבה הכימי של התמלחת הסופית מצטיין בגרעון באשלגן (3.5 גר'/ליטר) ונתרן (3.7 גר'/ליטר) ביחס לתמלחת ים המלח. מאידך מוכפלים ריכוזי סידן, מגנזיום וברום בתמלחת לעומת ריכוזם במי ים המלח (סידן 36 גר'/ליטר, מגנזיום 93 גר'/ליטר, וברום 11.2 גר'/ליטר, גבריאלי, 1987).

From the Dead Sea

- Potash
- Bromine
- Magnesium Chloride
- Industrial and Table Salt



צ'ור 4 - תרשים של הפקת אש'ג מהקרנ'ליט.



בתחנה זו נצפה מזרחה, לשוליים המזרחיים של בקע ים המלח באזור צפי. הגיאולוגיה לפי בנדר (1974) והסטרטיגרפיה (בנומנקלטורה הישראלית, לפי 1981, BARTOV ET.AL.) מגלה כי התנועה האנכית של הצד המזרחי גרמה להתרוממות השוליים המזרחיים בכמה מאות מטרים ביחס לשוליים המערביים וגרמה לחשיפה של יחידות מהפריקמבריום העליון עד לקרטיקון התחתון (ציור 5). יחידות אלה אינן נחשפות בשוליים המערביים. במניפת הסחף של ואדי קוניא נחשפים דיוריטים פריקמבריים ומעליהם קונגלומרט סרמוג' האקויולנטי ליחידה הוולקנו-קלסטית באילת. ברקונסטרוקציה של כ-105 ק"מ אזור צפי יועמד מול אזור נחל חיון בשולי הבקע המערביים (GARFUNKEL, 1981). לקו השבר, בכיוון מערב-מזרח, אשר מופה מזרחה לצפי, לא נמצא המשך באזור נחל חיון.

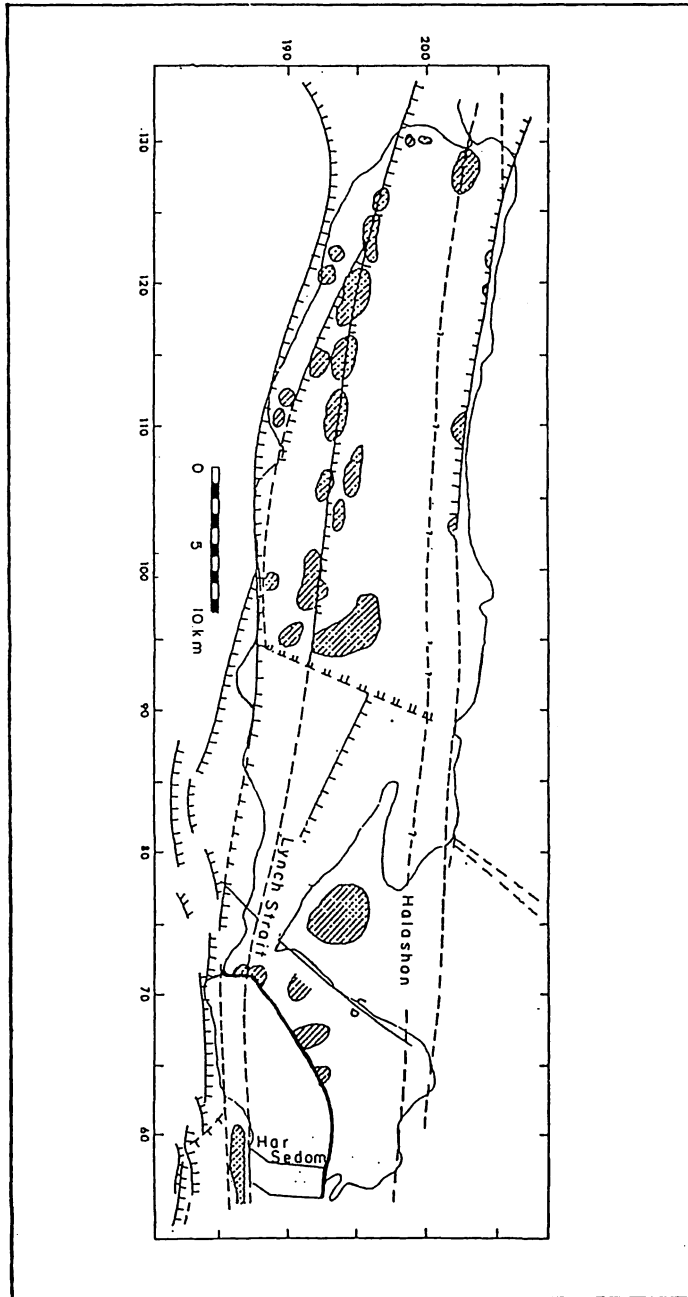
#### תחנה מס' 7 - תצפית אל מוצא התמלחות הסופיות במפעל הירדני.

כאן נראה מעין דלתא של מלח המציינת אולי "ריפים" של מלח מתחילת שנות השבעים כאשר האגן הדרומי היה מכוסה במים.

#### תחנה מס' 8 - תצפית על הקצה הדרומי של חצי אי הלשון, מצרי לינץ' והאגן הדרומי היבש של ים המלח.

הצבע האדום בקרקעית האגן הדרומי מקורו בכיסוי של אצות ובקטריות אדומיות במשטחי המלח (הליט) אשר תוארו גם מפני ים המלח (AND OREN, 1984, SHILO). כיסוי מעין זה אופייני לאיזורי סבחות ומשטחי מלח. חצי אי הלשון מורכב ברובו מדיאפיר של מלח בתת הקרקע (NEEV AND HALL, 1979), ועל פני הקרקע נחשפת תצורת חואר הלשון. בתצלום אויר ניתן אולי לראות "צללית" המבנה האלפסואידי האנכי של שכבות המלח של הדיאפיר "דרך" הכיסוי של חואר הלשון. מבנה זה דומה למבנה של הר סדום. דיאפירים של מלח מופו (ציור 6), לאורך שברים בקרקעית ים המלח ע"י ניב והול (1979) אשר הגדירו את תקופת חדירתם כסוף הפלייסטוקן (תצורת הלשון) ולפני כן במשך תקופת שקיעת תצורת עמורה. מערכת דיאפירים צפופה במיוחד מופתה לאורך השבר המערבי באגן הצפוני של ים המלח. במצרי לינץ', ומצפון ומדרום להם מופו שברים צעירים בכיוון מערב - צפון-מערב אשר לאורכם מופו גם מוקדים של רעידות אדמה (BEN AVRAHAM ET. AL., 1984).





ציור 6 - ים המלח, מפת שברים ודיאפירים (NEEV AND HALL, 1979).

סיוור מס' 9: התופעות הוולקניות בערבה

דב לויטה, המכון הגיאולוגי, ירושלים  
איתן שש, המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים  
עמיר אידלמן, החברה להגנת הטבע.

מטרת הסיוור היא להכיר שתי תופעות וולקניות קנוזאיות בודדות אשר ניצפו בדרום הבקע בערבה, לעומת וולקניזם אינטנסיבי המלווה את צפון הבקע.

שתי התופעות נמצאות בשוליים המערביים של הבקע, והמרחק ביניהן כ-13 ק"מ (ציור 1). התאור הנוכחי של תופעות אלה מבוסס על עבודותיהם של לויטה (1966) ואידלמן (1979).

תחנה מס' 1: הקלדרה של עין יהב (ציור 2)

בנחל כרכשת ליד עין יהב בנ.צ. מרכזי 1649/0032 מצוי שדה .טופים בזלתיים אשר תואר לראשונה ע"י שיפטן (1956). מופיעים בו שני סוגי טופים: א. טוף חום בלוי המורכב מפרגמנטים וולקניים בלבד. ב. טוף אפור המכיל כמות רבה של חומר נלווה ומקרי, בעיקר גרגרי קורץ ופחות קרבונט. בין שני סוגי טוף אלה קיימים טיפוסים מעבר. מחשופי הטופים אינם רצופים ונטויים לכיוונים שונים. הטופים מופיעים יחד עם סלעים מתצורת חצבה, תצורת ע'רב וסלעים מגיל איאוקן.

איזור הטופים מוקף העתקים, כאשר הגושים השבורים נוטים לכיוון מרכז האזור (ציורים 2,3,4). העתקים אלה יוצרים מערכת קונצנטרית כאשר אף אחד מההעתקים אינו חורג מהאיזור הנדון.

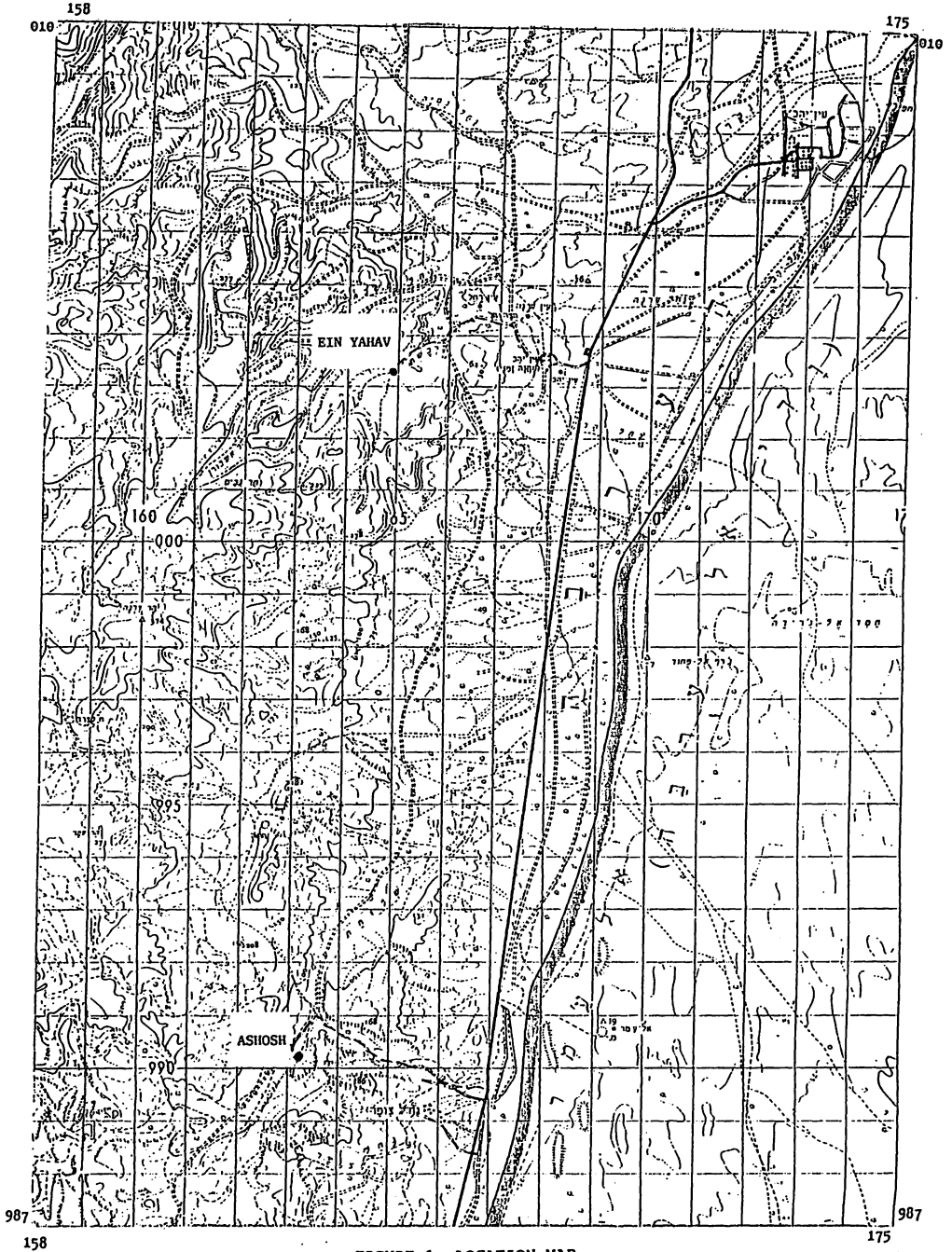


FIGURE 1. LOCATION MAP.



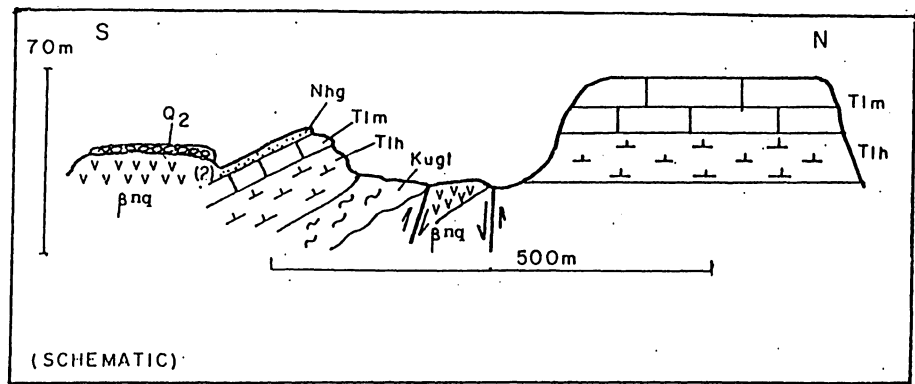


FIGURE 3. SCHEMATIC SECTION (N-S) IN NAHAL KARKESHET.

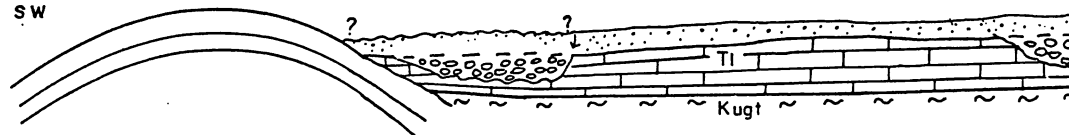
# NAHAL KARKESHET

## THREE STAGES IN THE HISTORY OF THE CALDERA

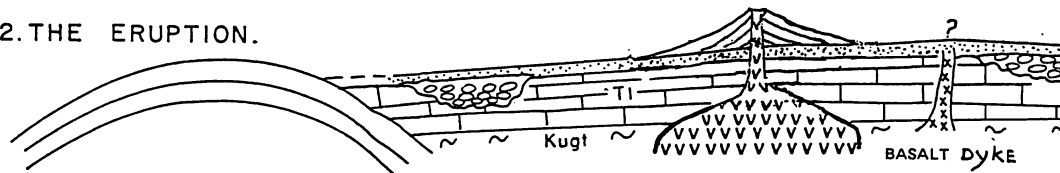
I. END OF THE HAZEVA Fm.

SW

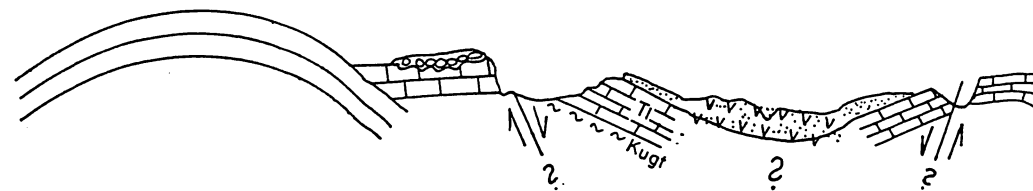
NE



2. THE ERUPTION.



3. THE COLLAPSE



HAR GEVIM

NORTH TO  
N. SHILAV  
COORD. 164/002

N. KARKESHET  
COORD. 165/003

FIGURE 4. THREE STAGES IN THE HISTORY OF THE EIN YAHAV CALDERA.



מתוך איזור הטופים יוצאים שני דייקים בזלתיים בכיוון כללי מזרח ומערב. הרכב הדייקים הוא בזלט אולטרה בסיסי אשר הוגדר כטאנבושיט. עוביים מגיע עד ל-1 מ' ואורכם הכולל כ-3 ק"מ. גיל הדייקים הוא  $2.7 \pm 0.6$  מיליון שנה, (דהיינו פליוקן עליון) כפי שנקבע בשיטת K-Ar. (STEINITZ ET AL., 1978).

הופעתם של השברים קונצנטריים והבלוקים הנטויים מורה על האפשרות שאנו עדים למבנה של קלדרת התמוטטות.

שיחזור סדר הארועים בהתפתחות הקלדרה, בהסתמך על יחסי השדה וקביעות הגיל המוחלט הוא כלהלן (ציור 4):  
א. בסוף הניאוגן היה קיים באזור נוף שטוח למדי, המכוסה בסדימנטים קלסטיים של תצורת חצבה, ממנו בלטו אזורי הכיפות של הר גבים, כיפת רחל וכדומה.

ב. לפני כ-2.7 מליון שנה ארעה התפרצות וולקנית באזור, אשר התבטאה ביצירת קונוס פירוקלסטי קטן. בגלל התשתית של סלעי הסביבה הקלסטיים, התערבב החומר הפירוקלסטי עם גרגרי קוורץ. בו זמנית להתפרצות הוולקנים, חדרו לסלעי הסביבה דייקים בזלתיים.

ג. עם תום ההתפרצות הוולקנית חלה התמוטטות של כל הר הגעש (יצירת קלדרה). התמוטטות זו התבטאה בנטיית גושים של סלעי הסביבה האיאוקניים והניאוגניים, ובריסוק של שכבות הסוף עצמן. עצם ההתמוטטות של הר געש כה קטן מעידה כי התא המגמתי אשר הזין את הר הגעש היה בעומק רדוד יחסית.

תחנה מס' 2: נחל עשוש (ציורים 6,5)

בגדתו המזרחית של נחל עשוש, בנ.צ. 1633/9903 נחתר מכתש ארוזיבי שבמרכזו מצוי מחשוף בזלת הבולט מעל סביבתו, בקוטר מכסימלי של כ-30 מ' ובגובה של כ-10 מ'. בראש גבעת הבזלת נמצא סידוק ורטיקלי בדמות

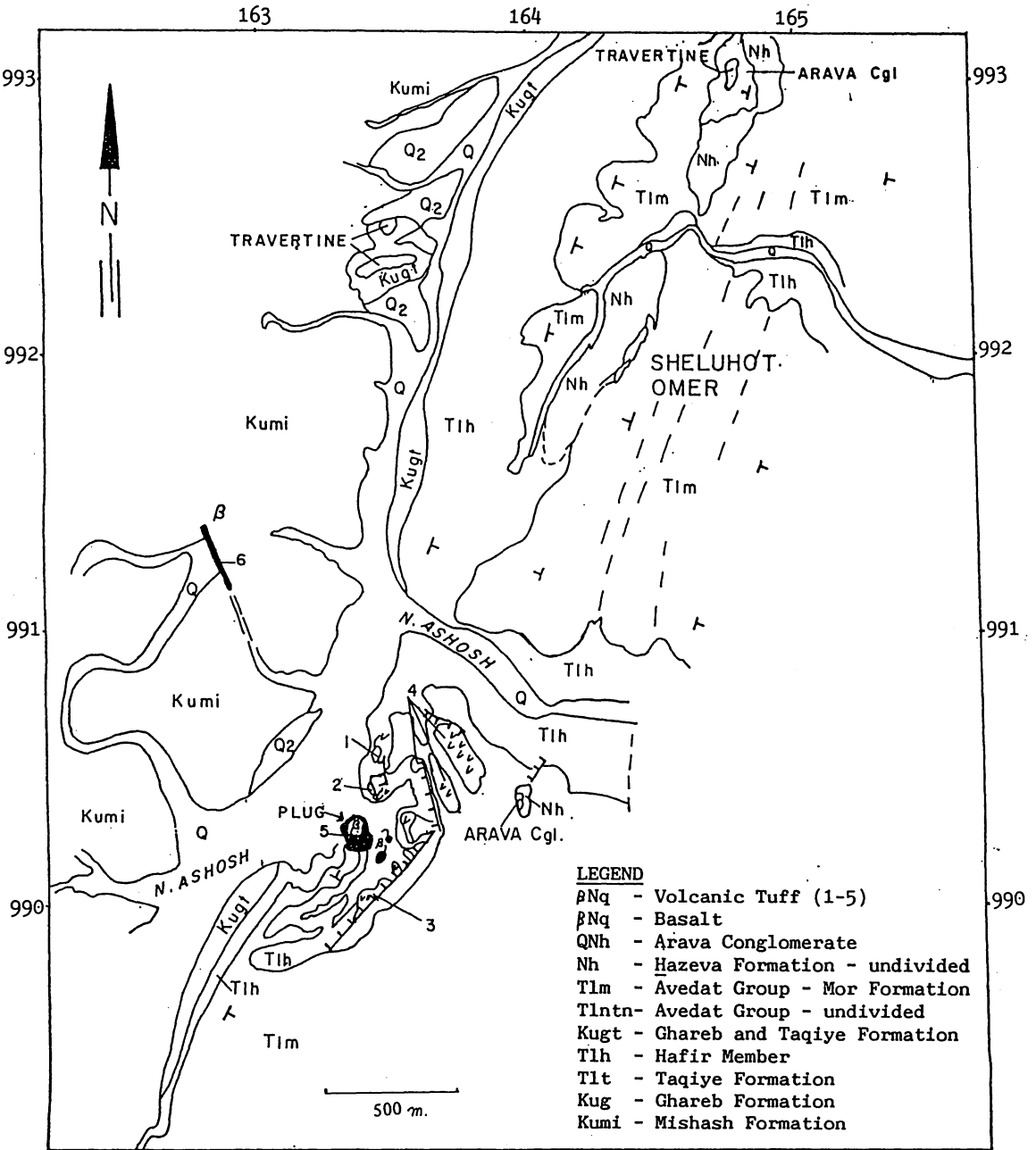


FIGURE 5. ASHOSH PLUG AND SURROUNDING AREA - PHOTOLOGICAL MAP.

# THE VOLCANIC PLUG IN NAHAL ASHOSH

## TWO SCHEMATIC SECTIONS

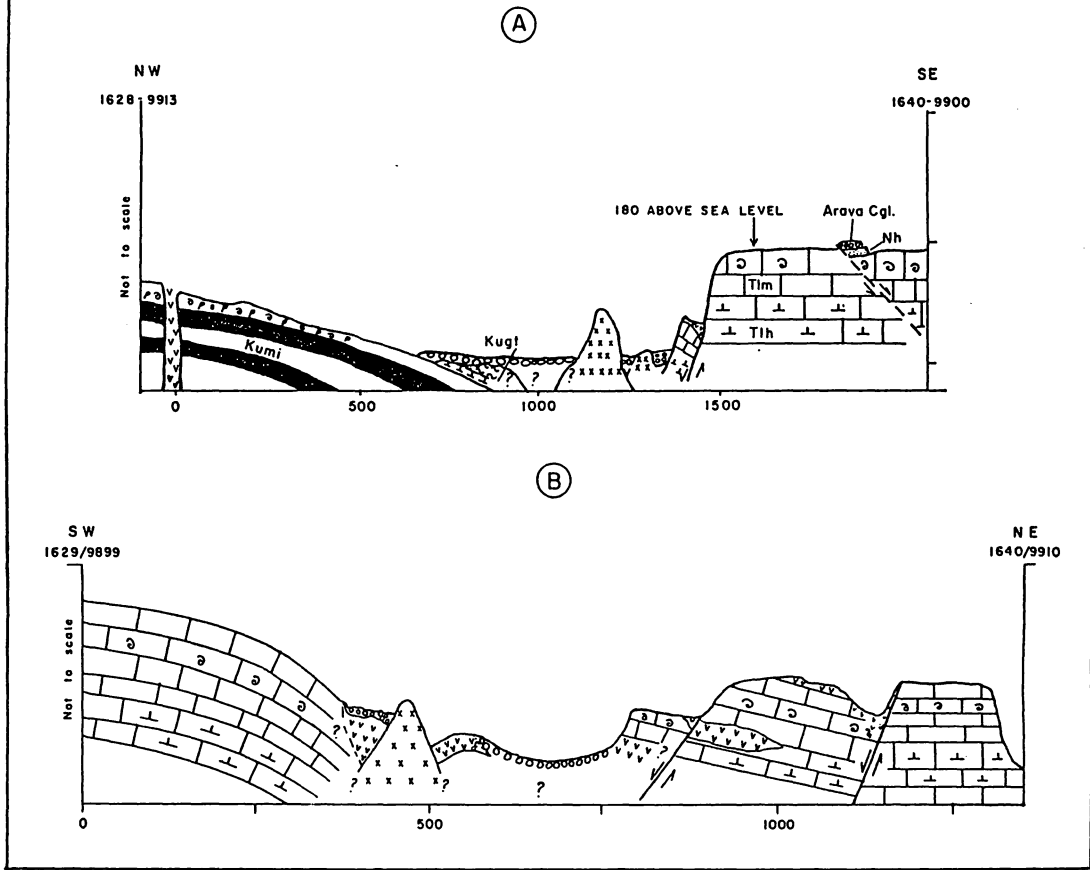


FIGURE 6. SCHEMATIC CROSS SECTION IN NAHAL ASHOSH.

פריזמות פוליגונליות. ליד גבעת הבזלת מצויים עוד חמישה מחשוףי בזלת, ומחשוף נוסף התגלה במרחק 1,5 ק"מ צפונית מערבית למחשוף הגדול.

הבזלט בכל המחשופים הוגדר כלברדוריט - אנדזין בזלט עם קסנוליטים רבים של גברו בעל הרכב דומה. גילה הרדיוגני של הבזלת לפי בדיקת  $K-Ar$  הוא  $20.7 \pm 2.2$  מליון שנה (STEINITZ ET AL., 1978), הווה אומר מיוקן מוקדם.

בקירות הצפון מערביים של המכתש נמצאו מחשוףי טופים מגוונים בעלי סטרוקטורות למינריות מעוותות, המכילים במקומות פצצות וולקניות. הטופים נמצאים במרבית המחשופים בתוך החתך הגירי של סלעי הסביבה האיאווקניים. מגע הטופים עם הסלעים הגיריים מעליהם הוא במקומות אירגולרי, ונראות מעין חדירות של הסלע הוולקני לסלע הסדימנטרי בדמות עורקים מתפתלים. במקומות אחרים נמצא מגע חד, אשר מיחסי שדה ניתן להסבירו כמגע של גלישה.

קירות המכתש הם בדרך כלל מרוסקים ומלוויים במספר תופעות של החלפות מינרלוגיות, שביטוייהן העיקריים הם:

- א. "אפיה" של הגיר הנומוליטי האיאווקני, המתבטא בהשחרתו.
- ב. סלעי תצורת טקיה בכותלי המכתש הם בהרכב מונטמורילוניטי וצבועים בצבעי אדום, צהוב, חום וירוק, בניגוד להרכב הקאוליניטי והצבעים האפורים המאפיינים את סלעי התצורה במקומות אחרים.

הבעיה העיקרית הכרוכה בהופעות שתוארו לעיל, היא האם יש לפרשן כביטוי לתופעות אקסטרוזיביות או אינטרוזיביות. הופעת הגוף הבזלתי המוקף בטופים פורשה כמבנה של "פקק" וולקני (PLUG) במרכזו של הה געש אקספלוזיבי (בן תור, 1956, 1957). מספר תצפיות מעמידות בספק השקפה זו, כלהלן:

- א. הסידוק הוורטיקלי בראש גבעת הבזלת מעיד כי סלעים אלה עברו קירור מהיר. ניתן להסביר זאת כביטוי לחלקו העליון של שפך

לבה, אולם צורתו העגולה של הגוף הבזלתי אינה תואמת הסבר זה. לחילופין, יתכן שהקרור המהיר הוא תוצאה של מגע עם סלעי סביבה. הסבר זה מתיישב עם האפשרות שמדובר בגוף אינטרוזיבי קטן (STOCK).

ב. מציאות טובים בתוך החתך של סלעי הגיר האיאווקניים מצביעה על האפשרות שהם מהווים חלק מגוף אינטרוזיבי, ויש איפוא להתייחס אליהם כאל טופיזיטים (TUFFISITES). גם הסטרוקטורות המעוותות והופעת עורקי טוף מפותלים בסלעי הסביבה מחזקת סברה זו.

מתוך התצפיות דלעיל ניתן לאמר שגוף מגמתי בזלתי עלה עד קרוב מאוד לפני השטח, וזאת אנו מסיקים מהסידוק הקולומברי שנגרם ע"י התקררות יחסית מהירה וכן הופעת הטופיזיטים המייצגים פזה שלא הגיעה לכלל אקסטרוזיה. תמיסות וגזים ראקטיביים שליוו את התופעה גרמו לאטרציות הידרותרמליות שהתבטאה במעבר קאוליניט למונטמורילוניט ושינויי צבע בתצורת טקיה המארכת.

הוולקניזם של העשור קשור בזמן ובכיוון לארוע גדול יותר, המשתייך לפזה וולקנית שהשתרעה על שטח נרחב בסיני ובערב הסעודית (1978 STEINITZ, ET AL.,).

#### סיכום

שתי התופעות הוולקניות המתוארות, למרות הסמיכות הגיאוגרפית ביניהן שונות זו מזו בכמה היבטים:

א. עיתוי הפעילות בעשור (כ-21 מליון שנה) קדם לפעילות השבירה של הבקע, וקשור ככל הנראה לארוע הפתיחה של ים סוף. הפעילות הוולקנית בעין יהב, לעומת זאת (כ-3 מליון שנה), התרחשה בעיצומה של פעילות השבירה לאורך הבקע, אם כי היא עצמה אינה ממוקמת על שבר כלשהו.

ב. שתי התופעות מייצגות ביטויים שונים של פעילות וולקנית: בעין יהב מוצאים בעיקר עדויות למגמתיזם אקסטרוזיבי, ואילו בעשור עיקר הפעילות היא כנראה אינטרוזיבית רדודה, ומייצגת את החלקים התת-קרעיים של הר געש.

ג. למרות הדמיון בהרכב הכולל, סלעי הדייק בעין יהב הם אולטרבסיסיים, ואילו בעשור מוצאים בזלת בעלת הרכב ואינדקס צבע שכיחים.

סיוור מס' 10. הליתוסטרטיגרפיה והמבנה של מחדר מלח סדום

ישראל זק - המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

מ ב א

מטרות הסיור

א. להכיר את הסלעים והליתוסטרטיגרפיה של חבורת ים המלח בהר סדום, ואת התופעות הסדימנטולוגיות, ולבחון את התהליכים והתנאים הסביבתיים, הטקטוניים, הפיסיקו-כימיים והאקלימיים להיווצרותם.

ב. להכיר את סלע החיפוי וראי המלח ולהיווכח שהחיפוי הוא רזידואלי דיאגנטי, בעיקרו, והוא מורכב משרידים בלתי מסיסים של סלעי תצורת סדום.

ג. להכיר את צורות פני השטח ולהיווכח שהן טביעות תבליט צריבה על ידי המסה בראש המחדר, ומבטאות את תכונות ההרכב והמבנה שלו.

ד. להכיר ולנתח את המבנה ואת תופעות הדפורמציה של תצורת סדום הבונה את מחדר המלח, ושל תצורות עמורה והלשון, דרכן הבקיע ועלה.

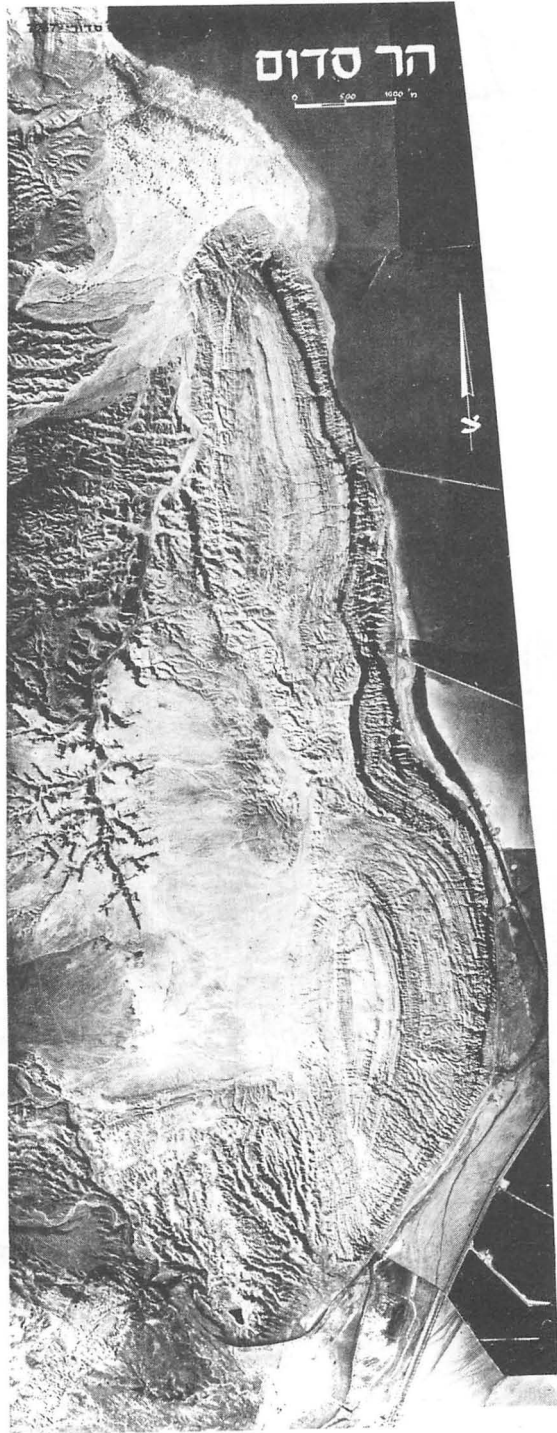
ה. לסכם ולנתח את התופעות בהר ובבקע, ולהעריך כמותית את התפתחות אגני הסדימנטציה ונדידתם (עם תנועת הלוחות והתפתחות הבקע, ועם זרימת המלח אל מחדר סדום), ואת המידה וקצב התהליכים הסדימנטריים והטקטוניים בהתפתחות חבורת ים המלח ומחדר המלח.

הר סדום - כיחידה מורפולוגית

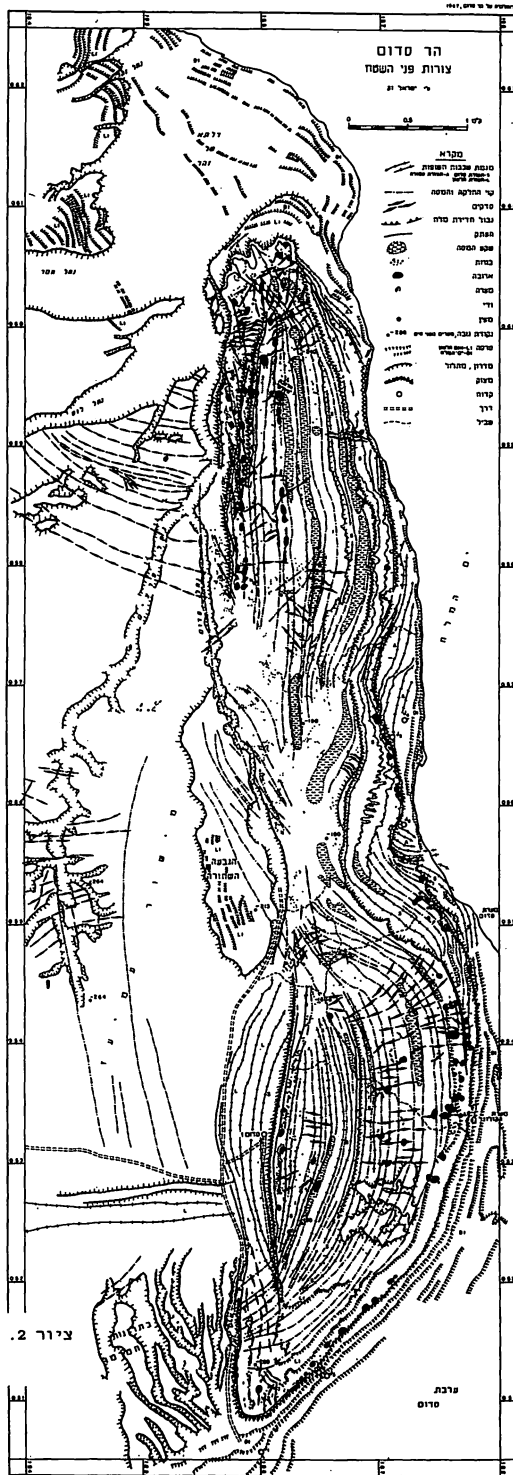
הר סדום הוא רכס מאורך בכיוון צפון - דרום, אורכו 11 ק"מ בקירוב, ורוחבו עד כ-2 ק"מ (ציורים 1,2 ותמונה 1). למזרח ההר ים המלח ובריכות האידוי של תעשית האשלג. מעבר להם המצוקים של הרי מואב, הגובלים את בקע ים המלח למזרח. באגפו השני של ההר משורר עמיעז ומצוקי רום, הגובלים את



תמונה 1. הר סדום  
תצלום אריר אנכי







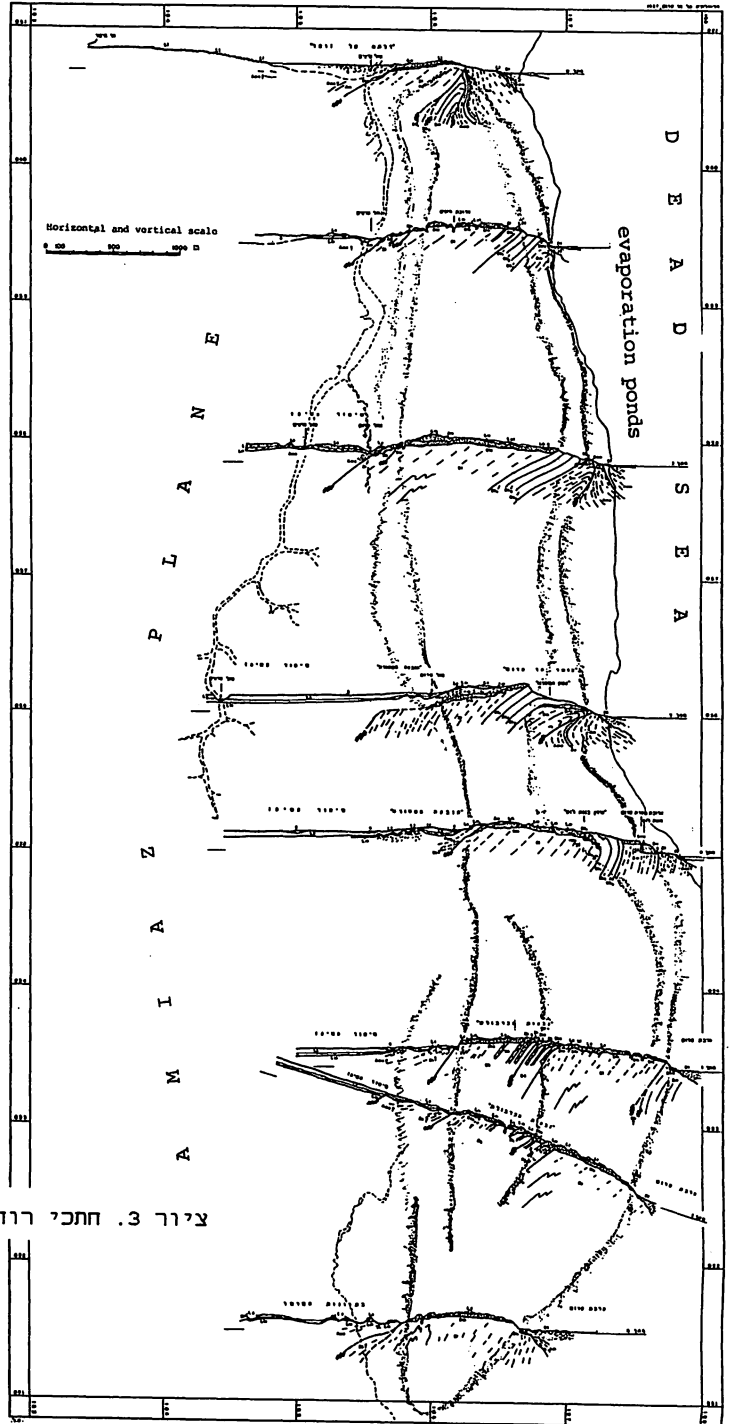
הבקע למערב. להר סדום הצפוני צורת יתד, ולהר סדום הדרומי צורה סגלגלה, קמורה למזרח, ומעליו מתרוממות גבעות הכרבולת. במרכז ההר אזור צר, צוואר הר סדום. פסגתו של הר סדום היא במה מבוותרת הנטויה קלות למזרח, גובהה כ- 150-200 מ' מעל פני ים המלח. שיאו של ההר, באזור גבעות הכרבולת, הוא כ- 240 מ' מעל פני ים המלח (160 מ' מתחת לפני ים התיכון). ההר מוגבל במצוקים ובמורדות תלולים היורדים באגפיו אל ים המלח ואל מישור עמיעז (תמונות 13, 4, בהתאמה), ואל הדלתא של זהר, וערבת סדום ובתרונות חמרמר, בקצותיו בצפון ובדרום. ההר בנוי שכבות מסיביות של מלח עם רובדי חול, אנהידריט וגבס, דלומיט וחוואר. הר סדום כיחידה מורפולוגית הינו ראשו המורם של גוף מלח. המבנה כולו משתרע גם לצידי ההר, ועומק שורשיו ק"מ אחדים לפחות (ציורים 3, 4, 5) (זק, 1967).

#### מחדר המלח - הרכב, מבנה והתפתחות

הר סדום מתרומם בדרום-מערב ים המלח, מתוך אגן סדימנטרי עמוק המכיל סדימנטים של חברת ים המלח (זק, 1967), בעובי רב (ציורים 4, 5). האגן התפתח על פני העתק טרנספורם סיניסטרלי, המבדיל בין לוח הלבנט (ישראל-סיני) במערב ולוח ערב-ירדן במזרח (זק, 1967; פרוינד וזק, 1973; Garfunkel et al., 1981; Zak and Freund, 1981).

ההר הוא מחדר מלח (salt diapir) במבנה של לוח מלח (salt wall) אנכי, שמגמת שכבותיו לרוב בכיוון צפון - דרום, והן נטויות בחריפות ועד אנכיות או הפוכות (ציור 3) (זק, 1967; Zak, 1960 a, b; Agnon and Zak, 1983). לוח המלח עלה ממעמקי בקע ים המלח, כפי הנראה החל בפלייסטוקן, הבקיע דרך כסות הסדימנטים שמעליו ופרץ החוצה אל פני השטח. הוא ממשיך להתרומם אף כיום (ציור 6 ותמונה 4). המחדר בנוי שכבות מלח ופצלים של תצורת סדום, שעוביה מעל ל- 2,000 מ', וגילה מוערך כפליוקן. תצורות עמורה והלשון, שנקרעו על ידי המחדר, גילן פלייסטוקן והן עשויות סלעים אבפוריטיים המכילים קרבונטים, סולפטים ומעט מלח, לסרוגין עם קרבונטים וסיליקטים דטריטיים, דקים עד מעט גסי גרגר. עובי הקטעים החשופים של תצורת עמורה למעלה מ- 400 מ', ועובי תצורת הלשון עד כ- 50 מ'.

ראש מחדר המלח נקטם בחלקו בארוזיה ולאחר מכן (כנראה כתופעה עיקרית) על ידי המסה (זק, 1967; Vroman, 1950-51). השרידים הבלתי מסיסים נותרו מעליו כלוח חיפוי, בעובי עד כ- 40 מ'. גג המלח הוא במשטח המסה המכונה ראי מלח (salt mirror; תמונות 5-7). הוא מבדיל בין המלח לשרידים



צילור 3. חתכי רוחב גיאולוגיים בהר סדום

הבלתי מסיסים שמעליו, שהם גרגרי מינרלים שהיו מפוזרים בתוך המלח, או שכבות דקות של אנהידריט, דולומיט או חרסית, מבין שכבות המלח. שכבות ביניים עבות של פצלים, מתוך יחידות המלח, נראות חוצות דרך ראי המלח אל תוך סלעי החיפוי. שם הן מופיעות כשכבות שרועות בתוך מאסה של גרגרים מפוזרים, שהיא לרוב חסרה או דלת ריבוד (תמונות 6-9). מעל יחידות שונות של החתך מונחת באי-התאמה תצורת הלשון שעוביה על ההר מצומצם לרוב, ומגיע לכ- 10-20 מ'. סדימנטים אלו נקרעו והורמו עם עלייתו של מחדר המלח (ציור 6 ותמונות 1-4).

סלע החיפוי הרזידואלי, כאשר הוא נוצר, הולך ומתעבה ומוסיף בבסיסו, תוך כדי תהליך המסת המלח שמתחתיו, במי תת-הקרקע שהם בתנועה ומתחלפים. הוא מגלה צורות שטח שהן טביעות של תבליט הצריבה בגג שכבות המלח ושכבות הביניים הבלתי מסיסות של תצורת סדום. לפיכך, תבליט זה הינו ביטוי להרכב החתך, למגמת השכבות ולתכונות הטקטוניות של התרוממות מחדר המלח בחלקו העליון. הכסות הדקה של תצורת הלשון נשמרת לרוב במבני התמוטטות בתוך השקעים שבתבליט ומהווה עדות להמשך תהליך ההמסה (ציורים 2,3 ותמונות 1-3). לוח המלח, בחלקו שמעל פני ים המלח, מחורר על ידי מערכת קרסט מסועפת ועשירה במערות, פירים וסדקי המסה. זו מהווה עדות לפעילות המסה רצנטית מתחת למפלס ראי המלח (זק, 1967; פרומקין, 1982, 1984; וראה גם ציור 2). פניו התלולים, מבותרים ומחוררים של ההר, הסלעים הפריכים שבראשו, והתנאים הארידיים של האזור, מהווים מעבדת טבע ומודל לתהליכי ארוזיה, סחיפה והשקעה במבני הרים צעירים (זק, 1967; גרסון, 1972).

מוצאו של לוח מלח סדום הוא ממאסה גדולה של מלח בדרום בקע ים המלח. עובי המאסה מספר ק"מ ובסיסה מצוי כנראה בעומק העולה על 6 ק"מ (ציורים 4,5). גופי מלח נוספים מתרוממים ממאסה זו ומהוים, יחד עם מחדר סדום, משפחת מחדרי מלח (salt-dome family) (זק, 1967; Neev and Hall, 1979). לוח המלח בנוי, כפי הנראה, מצלעה המזרחית, העבה, של אנטיקלינה לא סימטרית, שהתפתחה קרוב למרכזה של מאסת המלח בבקע. הצלע המערבית, הקבורה מתחת למישור עמיעז, מקומה מהשוליים של מאסת המלח והיא דקה יחסית ומתייחדת לעבר מערב (ציור 5). חלקו העליון של לוח המלח נע ומתרום בעיקר על ידי החלקה על מישורי השיכוב ואילו בעומק תנועתו בזרימה. עדויות לסגנון התנועה בעומק הן דפורמציות של זרימה הנראות במלח שהגיע אל פני השטח ובגלעיני קדוחים (זק, 1967; Zak and Freund, 1980; תמונות 10-15).



S E D O M S A L T W A L L

- W -  
J U D E A

M O U N T S E D O M

- E -

1967, 1971  
0718 10 10 0718

Amiaz Plane

Sedom 1  
borehole

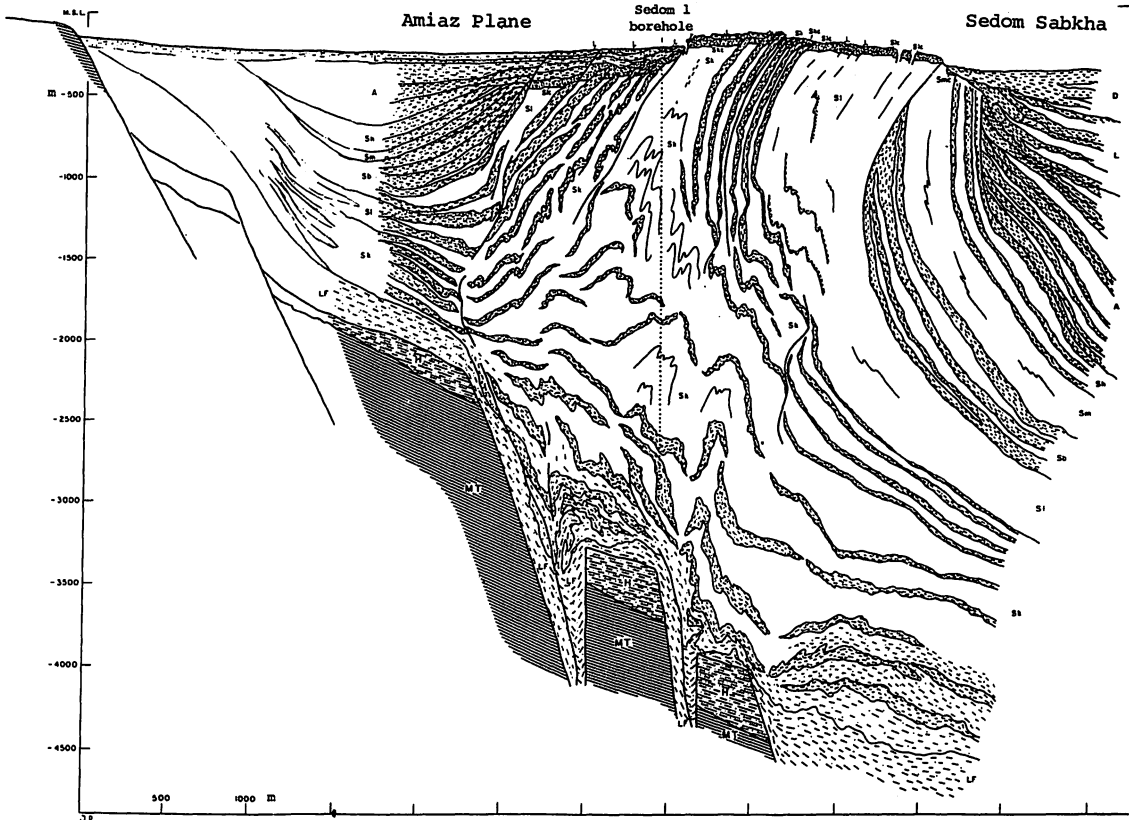
Sedom Sabkha

DEAD SEA GROUP

- D- Dead Sea deposits
- L- Lisan Formation
- A- Amora Formation
- S- Sedom Formation
- Sc- Sedom caprock
- LF- 'Lido Formation'

OLDER FORMATIONS

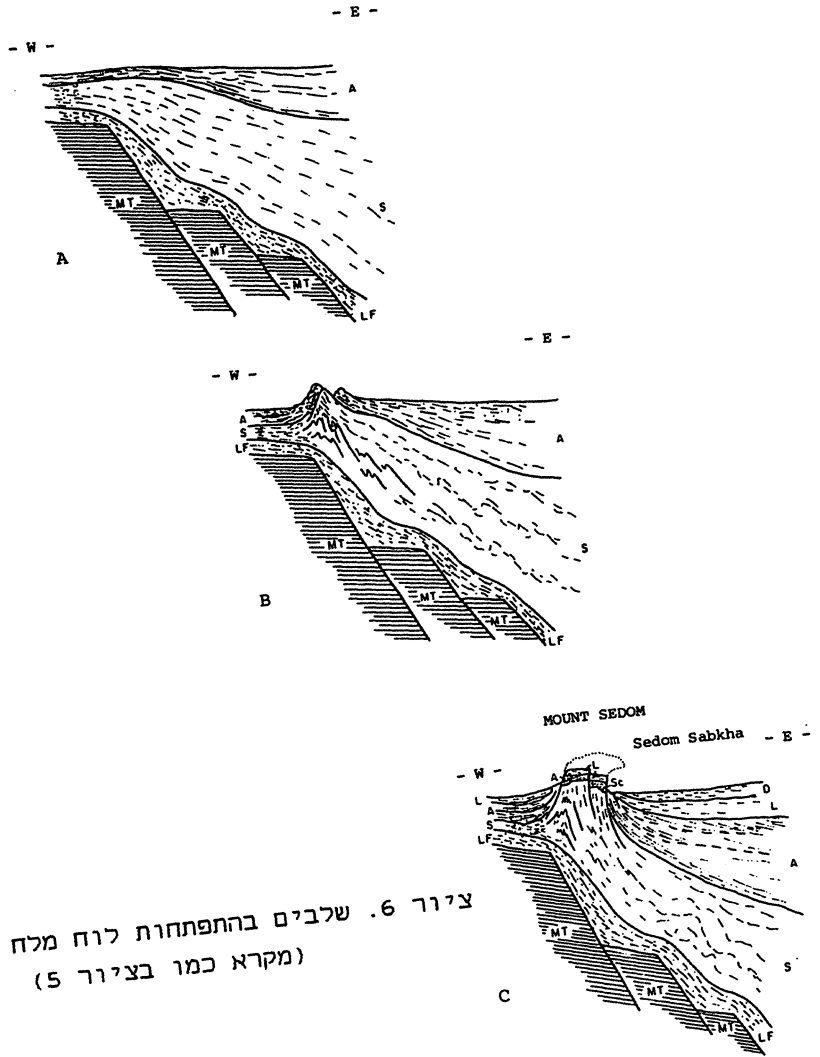
- H- Neogene, Hazeva clastics
- T- Tertiary
- M- Mesozoic
- P- Paleozoic
- PC- Precambrian



- Laminated carbonates, sulfates, shales, sandstones, conglomerates
- Halite, gypsum, anhydrite
- Caprock, desalted insoluble residue
- Piercement and bedding-plane slip-faults
- Inferred strike slip
- Borehole; (P) projected

ציור 5. חתך רוחב היפותטי בלוח המלח של הר סדום

### Stages of evolution of Sedom Diapir



ציור 6. שלבים בהתפתחות לוח מלח סדום  
(מקרא כמו בציור 5)

מלח תצורת סדום מוצאו מריני-אבפורטי, והוא הושקע באגן שעבר השתפלות טקטונית מהירה ורבה. הים חדר בפליוקן(?) דרך עמק יזרעאל ולאורך הבקע, עד לאזור סדום, ומשקעיו הם "תצורת לידו" ותצורת מזר המתגלות במחשופים ובקידוחים (שולמן, 1962; Shahar et al., 1966; זק, 1967; רוט, 1970). חילופי יחידות המלח ויחידות הפצלים, ומחזוריות וסירוגין של הסדימנטים השונים, הינם ביטוי לשינויים במידת הקשר לים ולשינויים אקלימיים ועונתיים. (זק, 1967; Horowitz and Zak, 1968). בפלייסטוקן המוקדם נותק האזור מן הים ומשקעי תצורות עמורה והלשון נרבדו בסביבות אגמיות-אבפורטיות, כפי הנראה מתמלחת ההולכת ונעשית דומה לים המלח כיום (מטיפוס Ca-כלורידית), ולפרקים בסביבות פלוביאטיליות (זק, 1967; Neev and Emery, 1967; Begin et al., 1974; Zak, 1980).

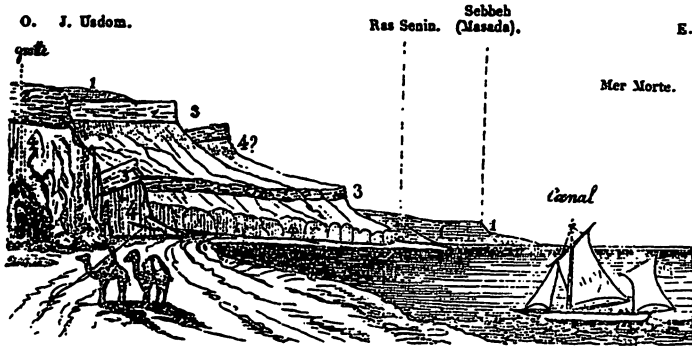
את האבפורטיים שנרבדו במפרץ ים סדום מאפיינות יחידות מלח עבות המורכבות מלח הליט, עם הופעות ספורדיות של שכבות ותרכיזים של קרנליט, סילויט וסולפטים של אשלגן ומגנזיום. יחידות המלח מכילות מעט גבס ואנהידריט ועוד פחות דלומיט וקלסטים דקים, והן מופיעות בסירוגין, או במעבר לצדדים, עם יחידות פצלים שעיקרן דלומיט, לרב פצלי, וקלסטים בינוניים ודקי גרגר, ופחות אנהידריט, גבס ומלח (זק, 1967; Zak, 1960 a,b, 1974).

את המשקעים האגמיים-קונטיננטליים מאפיינים ארגוניט אבפורטי עם מעט סולפטים ופחות הליט, וכן קלציט, דלומיט, קוורץ וחרסית דטריטיים, בריבוד מחזורי-עונתי. הסולפטים וההליט ממלאים לרוב את הנקבוביות או מפוזרים בסלעים המארחים, או מופיעים כלמינות עצמאיות, דקיקות. בחתך מצויים מספר אופקים עם תרכיזי פיריט וגפרית (זק, 1967; רווד, 1976; Zak, 1974; Begin et al., 1974).

### הר סדום במסורת ובתיאורים גיאולוגיים 'היסטוריים'

הפיכת אשת לוט לנציב מלח בזמן מהפיכת סדום ועמורה היא מן הסתם ההסבר הראשון לתופעה המיוחדת במינה של הר סדום. בין האגדות גם זו המופיעה כנראה לראשונה בפרקי רבי אליעזר בן הורקנוס, אשר חי במאה ראשונה לספירה: "... ונעשית (אשתו של לוט) נציב מלח ועדיין היא עומדת. כל היום לוכחים אותה השורים ויורדת על רגליה ובבוקר צומחת" (פערעלמאן, תש"ח). אגדה זו חוזרת ומסופרת בגרסאות שונות בדורות רבים. לפי תכנה, מתבקשת ההשערה שהקדמונים הבחינו והתרשמו מעליתו וצמיחתו של הר המלח או מצורות





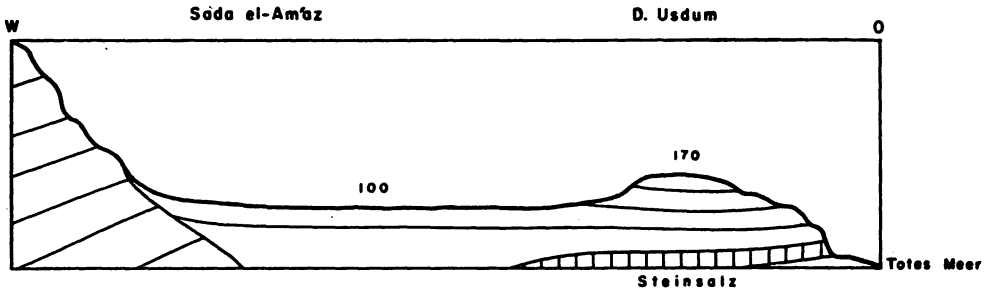
Vue de la montagne de sel, le Djebel-Usdom, et de la portion méridionale de la mer Morte.

1. Calcaire crétacé.  
2. Anciens dépôts de la mer Morte.

3. Gypse et argile gypsifère.  
4. Sel gemme.

Louis Lortet 1869, p.105

**a**



From Blanckenhorn M., (1912, p.113)

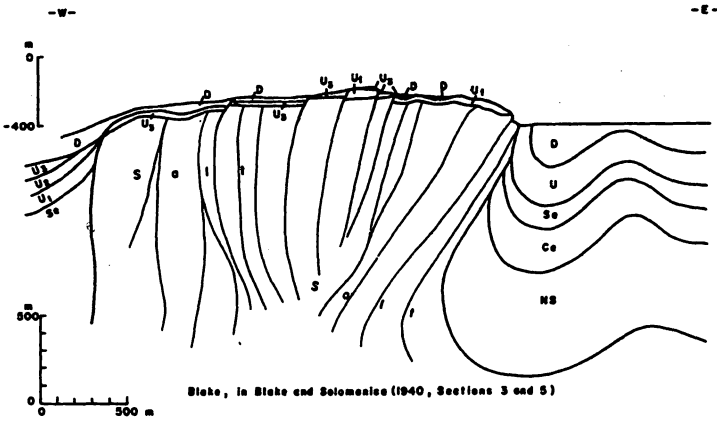
**b**

ציור 7. מבנה הר סדום בצירוריהם של חוקרים שונים  
מאז המאה התשע עשרה



Sketch section (not to scale) through salt-mass at salt-cave, Jebel Usdum.  
From Wyllie (1931, p.24)

c



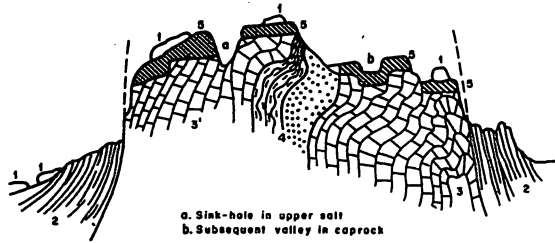
Bleke, in Bleke and Selomies (1940, Sections 3 and 5)

d



Cross-section based on geo-electric survey; From Löhnberg and Löwenstein (1940, cross-section III a)

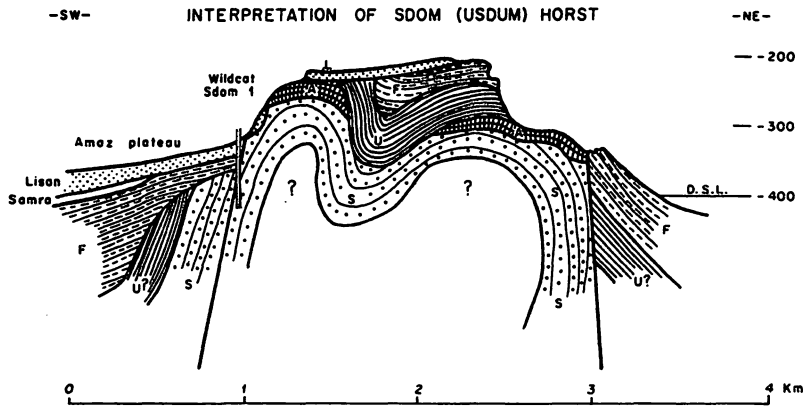
e



- 1. Lisan marl
- 2. Pliocene clay
- 3. Lower salt
- 3'. Upper salt
- 4. Usdum series
- 5. Caprock

Schematic cross-section through Mount Sdom with subrosion features  
From J. Vroman (1950-51, p.192)

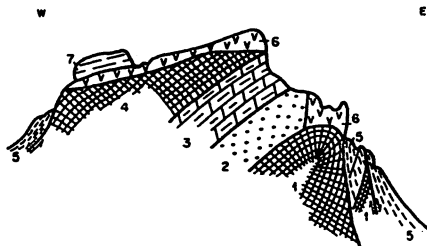
**f**



- S - Salt
- U - Usdum series
- F - Foothill series
- A - Anhydrite cap
- L - Lisan beds

Cross-Section : SDOM(Usdum) Mountain. From L. Picard (1959, fig.10)

**g**



- |              |    |                |                      |
|--------------|----|----------------|----------------------|
| } תצורת סדום | 4. | מלה גליון, ss. | 7. תצורת הלשן וסמרה. |
|              | 3. | פצלים, ss.     | 6. סלע חפוי          |
|              | 2. | אבן צחול, ss.  | 5. תצורת הדום ההר    |
|              | 1. | מלה תחתון, ss. |                      |

חתך דיאגרמטי בהר סדום צפוני, מתוך ברתור ופרומן (1961, עמ' 72, 58)

**h**

הארוזיה המשתנות. השם הר סדום (או ג'בל אוסדום, חשם אוסדום), הינו הד של סדום הנזכרת בתנך. אין כל הוכחה כי אכן בקרבת הר זה היה הישוב סדום.

תיאורים גיאוגרפיים-גיאולוגיים של האיזור ידועים החל מן המאה התשע עשרה, ובציור 7 מובאים ציורים המתארים את מבנה ההר לפי חוקרים מתקופה זו, של למעלה ממאה שנים:

- a) Lartet, 1869;    b) Blanckenhorn, 1912;    c) Wyllie, 1931;  
d) Blake and Solomonica, 1940;    e) Lohnberg and Lowenstein, 1940;  
f) Vroman, 1950-51;    g) Picard, 1959;    h) 1961 (בן-תור ופרומן).

### תחנות הסיור (ציור 1)

#### תחנה 1. מחצבת המלח בהר סדום הצפוני (נ.צ. 1871/0586)

שכבות נטויות של פרט מלח מערת סדום (Sm) גדועות כלפי מעלה ומסתיימות בראי מלח אופקי. מעל לראי המלח סלע החיפוי, המורכב מהשרידים הבלתי מסיסים שנותרו לאחר שהמלח סולק בהמסה. שכבות ביניים של פצלים מתוך החתך במלח, נראות עוברות דרך ראי המלח, אל סלעי החיפוי, שם הן מונחות כשכבות שרועות בתוך סלע חיפוי מסיבי, שריבודו דל או חסר (תמונה 6).

#### תצפית לאורך הדרך מתחנה 1 אל תחנה 2:

בנסיעה דרומה לאורך הצלע המזרחית של ההר ובעליה בדרך עפר אל מישור עמיעז, במערב, נצפה בשכבות פרט מלח מערת סדום (Sm) ופרט מלח לוט (S1). המחשופים מקוטעים ומתגלים במצוקים, בפירים ובמערות. לאורך המערות מתגלות שכבות מלח בחתכים בעובי של מאות מטרים. במערת הקולונל: שליד פתחה עוברת דרכנו, מתגלה חתך בעובי קרוב ל-400 מ' (זק, 1967; פרומקין, 1982, 1984). שכבות המלח הן לרוב בנטיות חריפות. כלפי מעלה הן מסתיימות בראי המלח, המתגלה לעיתים במספר מפלסים, המהווים ביטוי להתרוממות המחדר תוך החלקה על פני מישורי הריבוד או מדרגות המסה העוקבות אחר המפלס הנסוג ויורד של אגם הלשון.

תחנה 2. ההעתק המערבי של קוץ מלח הכרבולת (נ.צ. 1861/0533)

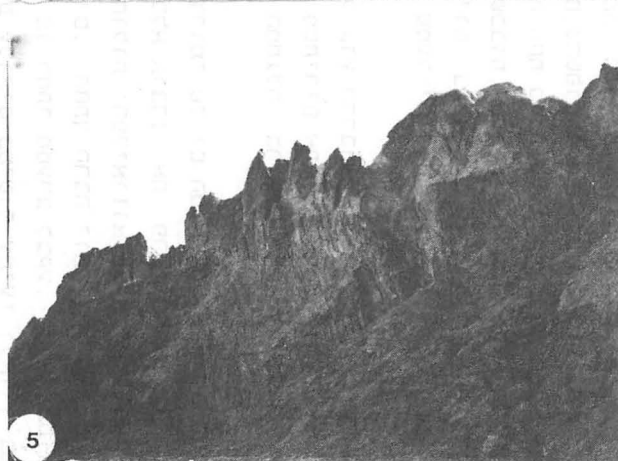
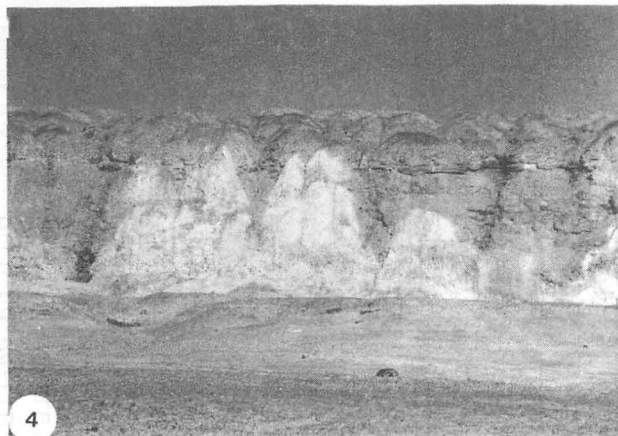
מבט ממרגלות ההר במישור עמיעז, אל קיר ההעתק הגובל את קוץ מלח הכרבולת ממערב (ציור 8; קוץ המלח מתואר להלן, תחנה 3). בפיר שהתפתח בקיר ההעתק נחשפות שכבות מלח הכרבולת (Sk), וכן ראי המלח וסלע החיפוי (Skc). מגמת ההעתק מקבילה למגמת שכבות המלח. על פני קיר ההעתק מורמות ו'מרוחות' שכבות תצורת הלשון, כשהן נטויות בחריפות (תמונה 4). בהתייחס להופעתן ניתן להעריך את כמות התנועה של קוץ המלח בכ- 70 מ' לפחות, מאז נסתיים זמן אגם הלשון. מכאן קצב תנועה ממוצע של כ- 3.5 מ"מ לשנה, לתקופה זו.

תחנה 3. קוץ מלח הכרבולת בהר סדום הדרומי (סביב נ.צ. 1867/0537)

קוץ המלח (salt spine) הוא 'תת-מחדר' שהתרומם מתוך הגוף העיקרי בקצב מהיר יותר, יחסית. זהו גוף אליפטי שצירו הארוך, בכיוון צפון - דרום, מקביל למגמת השכבות ולמבנה של לוח המלח (תמונה 1 וציור 2). הוא מוגבל במזרח ובמערב בהעתקים המקבילים אף הם למישורי השיכוב. קוץ המלח בנוי מפרט מלח ופצלי הכרבולת (Sk), שהוא הפרט הקדום ביותר בתצורת סדום שהגיע אל פני השטח. עוביו מוערך כדי 550 מ', והוא מורכב מספר יחידות מלח לסירוגין עם יחידות פצלים. יחידות הפצלים נחשפות בכרבולות, שהן רכסים רזידואליים, בכיוון מגמת השכבות. הן מופיעות גם כשכבות שרועות בתוך סלע החיפוי. יחידות המלח נחשפות במספר קטן של מקומות, בפירים ובמערות, ובדרך כלל הן מוסתרות תחת כסות סלעי החיפוי, המופיעים בשקעים מאורכים, אף הם בכיוון מגמת השכבות. שכבות תצורת הלשון, שכיסו בעבר את קוץ הכרבולת כולו, מתגלות כיום במבנה של סינקלינות התמוטטות על פני סלעי החיפוי, בשקעים המאורכים שמעל יחידות המלח (ציור 8 ותמונות 2, 3).

מגבולו המזרחי, הגבוה, של קוץ הכרבולת נצפה על מזרח הר סדום הדרומי שם תצורת הלשון וסלע החיפוי מסתירים את מלח לוט (Sl), המתגלה בפירים ובמערות (והוא הפרט המתגלה ברוב אורכה של מערת הקולונל).

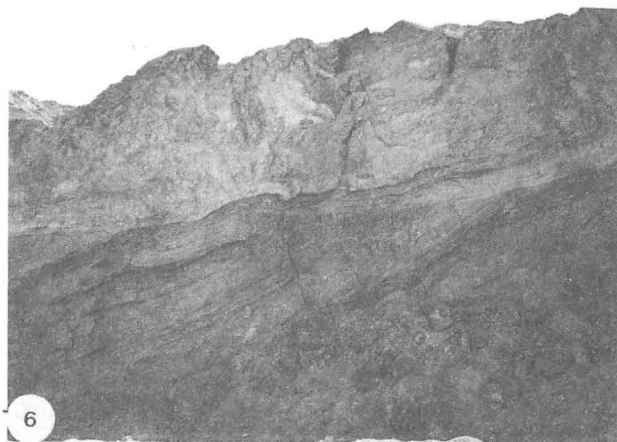
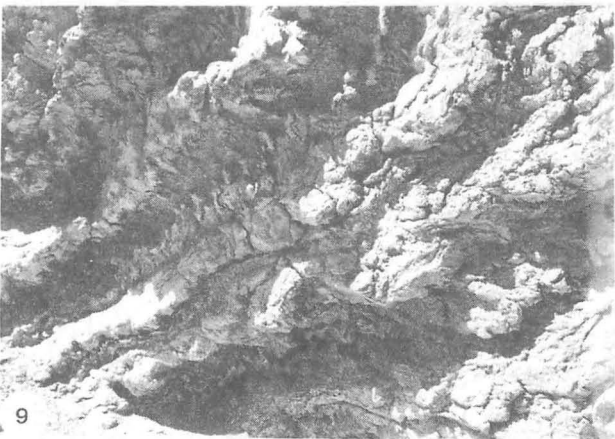
מכאן מבט נרחב על האגן הדרומי של ים המלח ומלוא רוחב הבקע, ועל הרי מואב, שם ניתן לראות (בימים ללא אובך) את פרטי החתך למן התשתית הקריסטלינית הפרי-קמברית, החולות הפליאוזואיים והמזוזואיים ועד לקרבונטים מזוזואיים וטרציריים. החתך הרבה יותר דק, מורכב יחסית יותר, קלסטים ומכיל יותר אי-התאמות, מן החתך ממערב לבקע, שהוא עבה ומריני יותר, וחלקו העיקרי מוכר רק מקידוחים עמוקים במישור עמיעז ולאורך במת ההר ומצוק



תמונות 2-3. כרבולות פצלים מפרש הכרבולת (Sk) וביניהן תצורת הלשוך בסינקלינות התמוטטות

תמונה 5. ראי מלח נטוי למזרח (לשמאל), בגג שכבות מלח Sm אנכיות; מעליו סלע חיפוי Smc; מדרום למערת סדום

תמונה 4. קיר ההעתק המערבי של קוץ מלח הכרבולת; בשמאל, מלח Sk (כהה) בפתחו של פיר; מעליו חיפוי Sk; על קיר ההעתק (בגווונים בהירים) שכבות 'מרוחות' של תצורת הלשוך



תמונה 8. סלע חיפוי במבנה 'רפאים' שמקורו במלח; צוואר הר סדום  
תמונה 9. סלע חיפוי בריבוד רזידואלי, סירוגין של אנהידריט קשה  
והוואר פריך

תמונות 6-9: מלח מערת סדום (Sm), ראי מלח וסלע חיפוי (Smc)  
תמונה 6. שכבת 'פצלים' עולה מן המלח (משמאל, מתחת לראי המלח) ועוברת  
כ'שכבה שרועה' אל סלע החיפוי בימין; מחצבת המלח, הר סדום הצפוני.  
תמונה 7. מדרגת ראי מלח וסלע חיפוי מסתיימים אל העתק החלקה על מישור  
הריבוד (בשמאל)

ההעתקים. מהשוואת החתכים ברור ששתי גדות הבקע לא היו בשכנות גיאולוגית עד לפני זמן גיאולוגי לא רב, וכי לוח ערב-ירדן מקורו בדרום, באזור פנים יבשתי יותר מאשר לוח הלבנט (Lartet, 1869; Zak and Freund, 1981; Freund et al., 1968; Garfunkel et al., 1981).

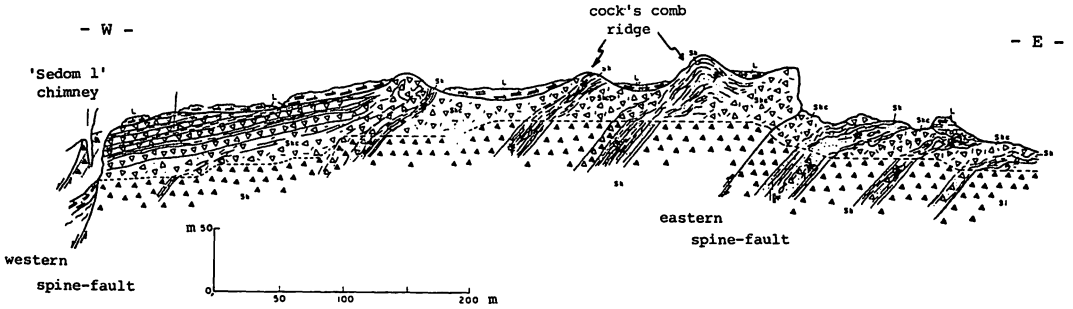
#### תחנה 4. הגבעה הלבנה (נ.צ. 1870/0549)

הגבעה הלבנה מהווה נקודת תצפית על פני מרחב ניכר במזרח הר סדום. היא בנויה משכבות תצורת הלשון, ועיקרה יחידה למינרית של ארגוניט אבפוריטי וקרבוניטים קלסטיים לסירוגין. בחלקה התחתון היא מכילה גם שכבות חוואר וסילט ורובדי קונגלומרט שליכודו לרב רופף. אופקי הקונגלומרט מכילים שברי סלעים מגולגלים מיחידות הפצלים של תצורת סדום, וחלוקי צור, דולומיט וגיר מתצורות הקרטיקון, המוכרות במצוק ההעתקים ובמת ההר. השכבות מונחות באי-התאמה ארוזיבית וזויתית על סלע חיפוי של מלח לוט (Slc) ועל פצלי בנות לוט (Sb). אי-התאמות זויתיות נראות גם בתוך החתך בתצורת הלשון, עדות להטיה מתמשכת של ראש לוח המלח לעבר מזרח, תוך כדי הרבדת התצורה. הטיה זו מוסברת בהתרוממות בקצב מהיר יותר במערב ההר, ואיטי יחסית במזרחו (הטיה דומה נראה גם בראי מלח מדרום לתחנה 7). מחשופים של התצורה מתגלים בהופעה דומה לאורך הדרך בה נעבור מקוץ הכרבולת ועד לגבעה הלבנה.

מן הגבעה הלבנה נצפה על מחשוף פרט פצלי בנות לוט (Sb), לעבר מזרח (ציר 9) ולעבר צוואר הר סדום בצפון. למרגלות הגבעה שכבות פצלי בנות לוט נטויות למזרח, ואילו לעבר צפון נטייתן משתנית, והן אנכיות במעלה צוואר הר סדום והפוכות על גבן, למרגלותיו במזרח. זיהוי בסיס וגג השכבות וכיוון מעלה החתך נעשה לפי סטרוקטורות סדימנטריות. כיוון זה נמצא לפי יחס Br/Cl בשכבות פרט מלח מערת סדום (Sm), המונחות מעל לפצלי בנות לוט הלאה למזרח (זק, 1967; Zak et al., 1968; Zak, 1974).

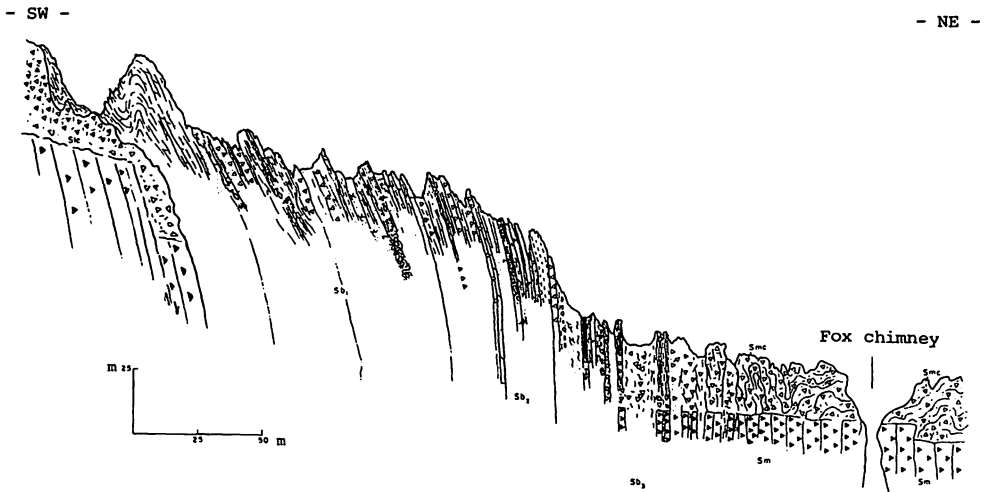


Cock's comb structure and morphology on salt spine  
in southern Mount Sedom



ציור 8. מבנה ומורפולוגיה של קוץ מלח הכרבולת, הר סדום הדרומי

Salt mirror, partly dislocated, on vertical Sedom salt.  
A thick shaly subunit and its outliers develops no caprock features.



ציור 9. חתך רוחב בצפון-מזרח הר סדום הדרומי, דרך פרט פצלי בנות  
(Sb) קוט, פרט מלח מערת סדום (Sm) וסלע החיפוי (Smc)

תחנה 5. חתך בפרט פצלי בנות לוט (Sb), הר סדום הדרומי (נ.צ. 1872/0550)

את החתך נראה תוך ירידה מהגבעה הלבנה, לאורך ערוץ עמוק היורד למזרח. פרט פצלי בנות לוט מורכב דולומיט פצלי ולמינרי, סילט ואבני-חול (לעיתים לימוניטיות) בחילופין עם שכבות אנהידריט, גבס, אבני-חול מלוחות ומעט מלח. עובי הפרט 140-170 מ' (ציור 9). סלעי הפרט מופיעים בקבוצות בעובי 5-15 מ'. בסדר הופעתן, ובתוך כל אחת מהן, ישנה מידה מסוימת של מחזוריות. בדרך כלל מורכבת כל קבוצה מן היחידות הבאות, בהן נוכל להבחין תוך ירידה בערוץ (ושהיא עליה בחתך):

דולומיט וחרסית: פצלים חרסיתיים, דולומיטיים וטינייים, לרוב בגוונים חומים וירוקים; דולומיט טיני ודולומיט אנהידריטי.  
למינות 'נייר' עם צמחים ודגים: עשויות דולומיט חרסיתי, בחלקו סילטי, אפור-צהב עד אפור-כהה, בריבוד למינרי. עובי הלמינות 0.1-1.0 מ"מ ולעיתים רחוקות עד ס"מ אחד, ובתוכן שרידי צמחים ודגים. הן יוצרות שכבות שעוביין מ-0.2 ועד כ-2 מ', מעוותות לפרקים.  
אבני-חול אדומות: אבני-חול לימוניטיות, אדומות, לרוב סילטיות.  
אבני-חול בהירות: אבני-חול סילטיות לבנות ואפורות בהירות, מלוכדות לרוב על ידי מלח ולעיתים על ידי אנהידריט או חוואר.  
אנהידריט וגבס: מופיעים ברבדים דקים עד מסיביים, בתרכיזים ובעורקים, בתוך חרסית, דולומיט ואבני-חול; צבעם לבן בהיר עד אפור.

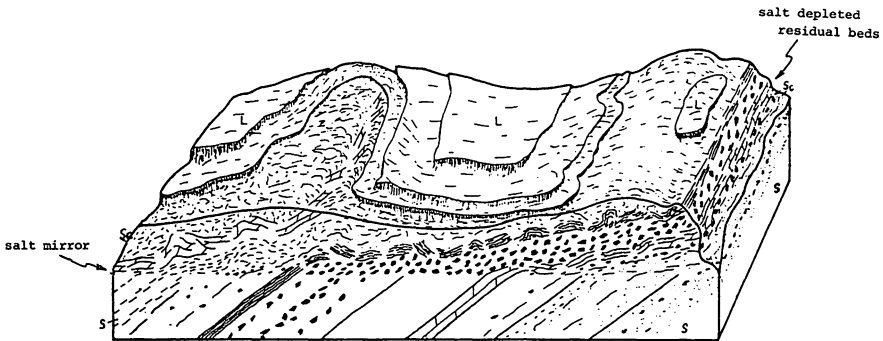
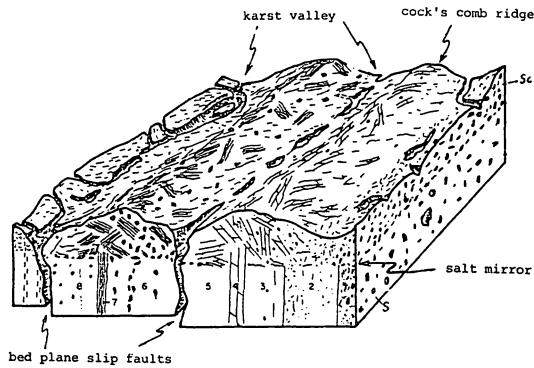
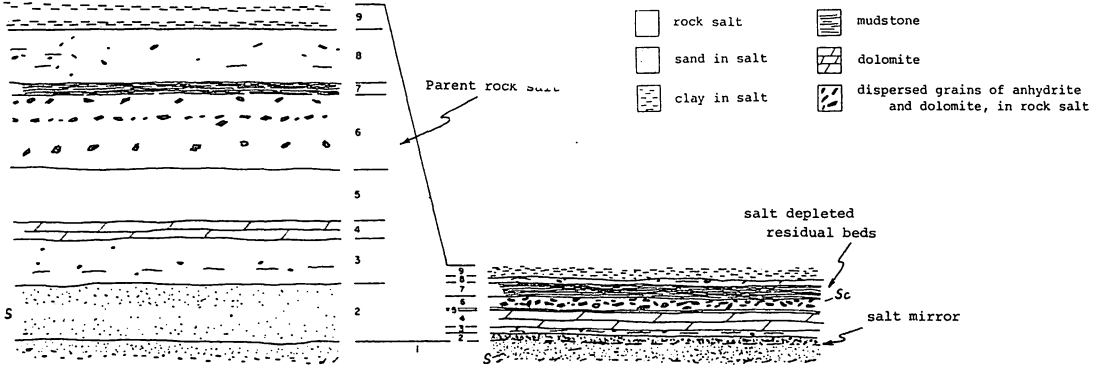
בחלק התחתון של הפרט רבים יותר פצלי דולומיט וחרסית ואילו אבני-חול בהירות ואדומות מעטות יותר והן יוצרות שכבות דקות. כלפי מעלה החתך הן מתרבות ונעשות עבות יותר; גם ליכוד המלח נפוץ יותר. בתוך אבני-החול מצויים גם מספר רובדי חלוקים. החלוקים מעטים, הם מעוגלים, חלקם פחוסים, והם עשויים צור, דולומיט וגיר שמוצאם מתצורות הקרטיקון. מספר דרגשים של אנהידריט מקומט ומרוסק מתגלים בחתך, בעיקר בחלק העליון של הפרט. לפי הופעתם והרכבם נראה, כי הם שרידים מתוך שכבות מלח אשר הומסו ונשטפו ובהר סדום הצפוני מתגלות, בחלק עליון זה של החתך, שכבות מלח נקי. בעובי בין 0.5 עד 6 מ').

תחנה 6. חיפוי מלח מערת סדום (Smc), מעל למערה ולמחצבה (נ.צ. 1873/0551)

תחנה זו היא באזור סלעי חיפוי המופיעים כמדרגה שטוחה ומעט גלית, והם מכסים, בעובי כ-40 מ', על פרט מלח מערת סדום (Sm). סלעי החיפוי

Characteristics of  
residual caprock formation in Mount Sedom

L - Lisan Formation (laminated aragonite and calcite)  
Sc - Sedom caprock  
S - Sedom Formation



צ'ור 10. מודלים דיאגרמטיים להתפתחות סלעי חיפוי בהר סדום:  
על יחידות מלח אפקיות (למעלה), אנכיות (במרכז), ונטויות (למטה)

עשויים אנהידריט וגבס, עם מעט חוואר, חרסית, דולומיט, גיר, חול, חצץ וחלוקים. הרכב הסלעים ומידת ריבודם אינם אחידים ומופיעים בצירופים שונים. עיקרם של סלעי החיפוי הם שרידים בלתי מסיסים במים מתוך שכבות המלח, אך בתוכם התערב, כנראה, גם סחף איאולי ופלוביאטילי בזמן תהליך ההמסה או לאחריו. בסלעי החיפוי הוטבעה תמונת תבליט הצריבה והחלקה של שכבות תצורת סדום שמתחתם (ציור 1 ותמונה 1).

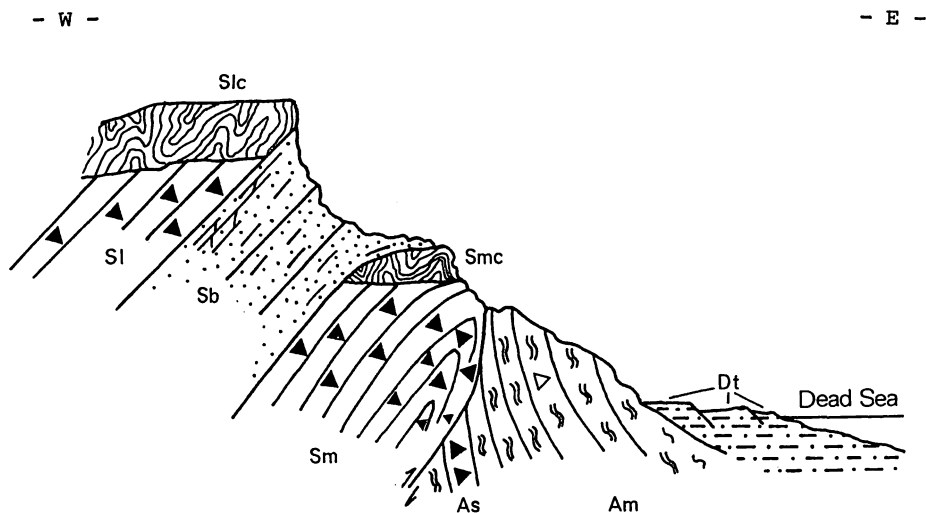
אפשר להבחין בטיפוסים שונים של סלעי חיפוי בהתאם להרכבם ולארגונם הפנימי: טיפוס דמוי קירטון, מטה נקבובית, סלע חיפוי מסיבי, וסלע חיפוי ברקציוזי; טיפוס חסר או דל ריבוד, סלע בריבוד רזידואלי השומר לעיתים גם על צורות דפורמציה מתוך המלח, שכבות שרועות ששמרו על רציפותן, והופעות סלע חיפוי בריבוד משני, מאוחר. ההבדלים נובעים מאי-אחידות בהרכבו ובמבנהו של חתך האב מחד, ומתנאי היווצרות ודרגות התפתחות שונים מאידך (ציור 10 ותמונות 4-9). בשטח מופיעים טפוסים אלה זה ליד זה, ובמעברים ביניהם.

בתחנה זו נראה (ונשלים בתחנה הבאה ובדרך לתחנה 8) התאמה וחיפה בין מבנים של צורות פני השטח, למגמת השכבות שבגוף המלח. בפני סלע החיפוי נראים בבירור קוי המסה, פסי שכבות שרועות, רזידואליות, קוי החלקה וגלי רכסונים ועמקים של המסה, שכיוונם הוא המשך רצוף של מגמת השכבות בפרט' מלח מערת סדום. מהדרך היורדת אל תחנה 7, ומהכביש, נראה לעבר צפון תופעה מיוחדת של התאמה בין מבנה קימוט סימטרי במלח (Sm) לשרידי המתגלים כ'רפאים' בסלע החיפוי (ציורים 11, 12 ותמונה 8).

#### תחנה 7. מחצבת המלח בהר סדום הדרומי, ליד מערת סדום (נ.צ. 1874/0553)

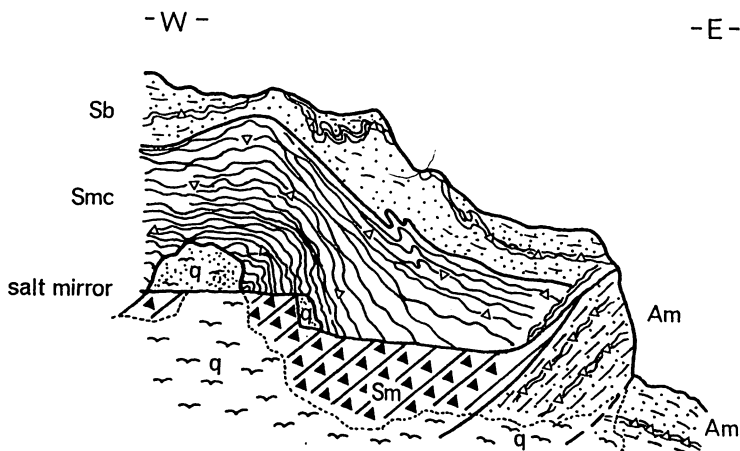
במחצבה (של חברת המלח עתלית) נחשפות שכבות מלח אנכיות של פרט מלח מערת סדום (Sm). כלפי מעלה השכבות גדועות בהמסה וראי המלח מתגלה במספר מפלסים (תמונה 7) ומעליו סלע החיפוי (אותו ראינו בתחנה 6, מעל המחצבה). בשכבות, שחשיפתן טובה (אך חלים שינויים בחשיפה, עם התקדמות החציבה) נראות תופעות מגוונות של דפורמציה. חלקן מוסברות כדפורמציה של זרימה בעומק רב, כגון בודינים של דולומיט ופצלים, אשר מקורם בשכבות ביניים בתוך מלח שעבר התארכות אנכית וגזירה, כתוצאה זרימה דיפרנציאלית (תמונות 10-11); ולעיתים גם בודינים של מלח (כמו בתמונה 12); פוליוגונים של התייבשות שעברו התארכות בכיוון הזרימה; וסידוק של התפצלות על פני מישורי פוליאציה של גזירה של גבישי אנהידריט בתוך המלח. אחרות מוסברות כדפורמציה בקרבת פני השטח, ובהן קמטים סימטריים פשוטים בשכבות המלח (ציורים 11, 12 ותמונה 8);

Endemic fold in Sedom rock salt, below salt mirror

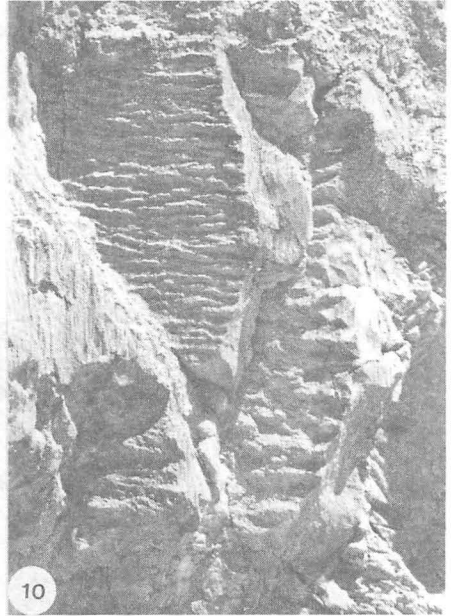


ציור 11. קמט אנדמי במלח מערת סדום (Sm), ליד מערת ארובותים

Ghost of endemic fold in the desalted caprock, above salt mirror

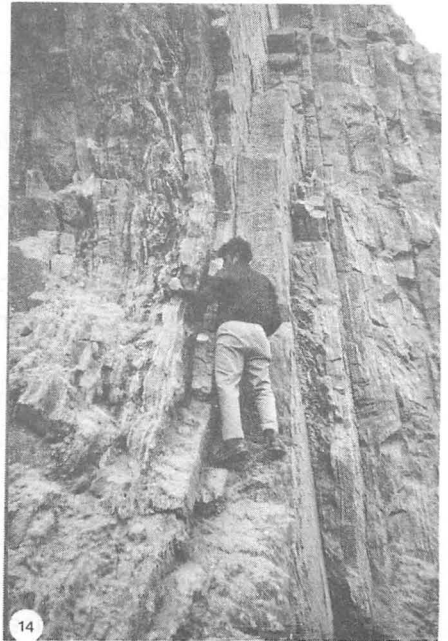
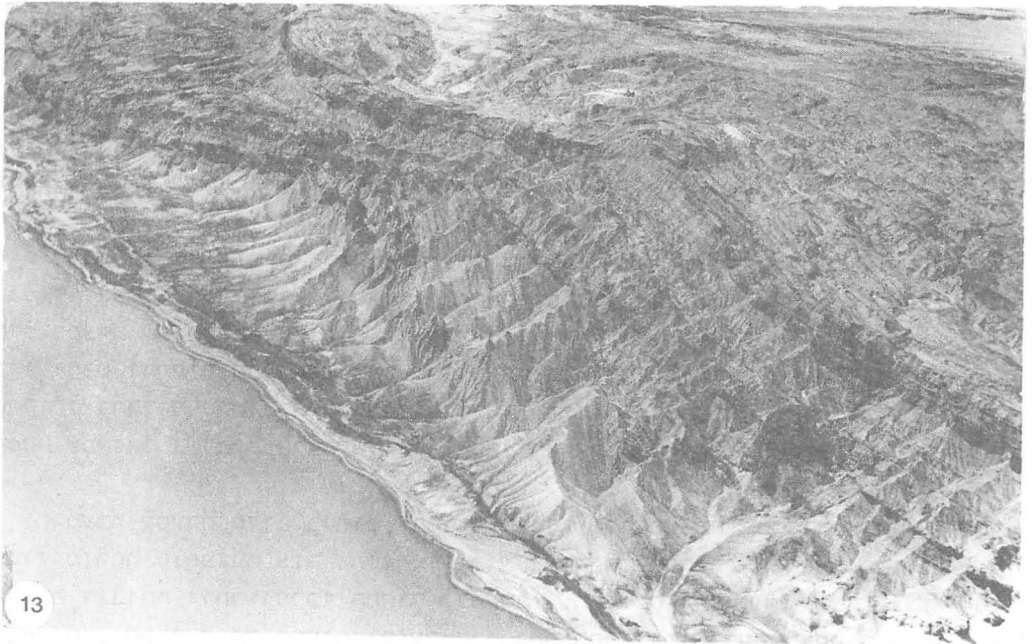


ציור 12. סלע חיפוי (Smc) במבנה קמט 'רפאים', שריד של קמט אנדמי  
בפרט מלח מערת סדום (Sm); צלע מזרחית של צוואר הר סדום



תמונת 10-11. בודינים מסורביים של דולומיט ופצלים במלח - טביעות מזוותות על פני המלח (תמונה 10), ריבוד מסורב כ- 45 מעלות (תמונה 11)

תמונה 12. בודינים של מלח עם מעט דולומיט, מסורביים כ- 30 מעלות, וטביעות מעוגלות בשכבות המלח



תמונה 13. צילום אוויר אלכסוני (מצפון-מזרח) של צוואר הר סדום, מימין לשמאל: סלעי חיפוי על במת ההר, פצלי בנות לוט במרדד (הפוכות, בנטיה כ- 50 מעלות למערב; בפינהשמאלית הפוכות על גבו); למטה במרכז שכבות תצורת עמורה מוגבלות מהמחדר בהעתק, מורמות ונטויות למזרח (לשמאל)

תמונות 14-15. קמטי התקצרות בשכבות דולומיט ופצלים הכלואות בין שכבות מלח שהחליקו זו לעומת זו; בתמונה 14 - רפי פרוינד ז"ל מודד את הקמטים.

החלקה על מישורי הריבוד; וקמטי התקצרות בשכבות ביניים של דולומיט ופצלים, הכלואות בין שכבות מלח שהחליקו זו לעומת זו (זק, 1967; Zak and Freund, 1981; תמונות 14-15).

דפורמציות הזרימה מראות מרכיב התארכות בכיוון הזרימה. בכל התופעות שנמדדו נמצא שהכיוון ומידת ההתארכות (כ-170%) דומים. את מידת הדפורמציה של החלקה על פני מישורי הריבוד, ניתן לשער לפי קמטי ההתקצרות בדולומיט וחרסית הכלואים בין שכבות המלח, ולפי מדרגות מפלסי ראי המלח, שמקורן בהחלקה טקטונית על פני מישורי הריבוד. במחצבה נראות גם מדרגות המסה שמקורן בשלבי נסיגה של חוף, כפי הנראה חוף אגם הלשון.

מעבר למערת סדום בדרום, במצוק הבנוי שכבות מלח אנכיות, נראה ראי מלח נטוי מזרחה (תמנה 5). הטיה זו היא בעיקרה, לפחות, תוצאת התרוממות מהירה וגבוהה יותר במרכז המחדר (במערב), ההולכת ומואטת לעבר גבולותיו (במזרח). הטיה דומה נראית גם על פני במת ההר (וראה הערה בתחנה 4).

#### תחנה 8. מערת ארובותים ותצורת עמורה (חלק עליון) (נ.צ. 1871/0567)

בצלע המזרחית של הר סדום הצפוני, במערת ארובותים ולאורך כק"מ דרומה, מתגלות שכבות מלח מערת סדום (Sm) במבנה של קמט "אנטיקלינלי" סימטרי פשוט (ציור 11). למעשה זהו מבנה סינקלינלי (במרכז הקמט מצויות השכבות הצעירות יותר וכלפי חוץ הקדומות יותר). בשני הפירים ('ארובותים') נראות חוצצות דפורמציה מורכבות, הקשורות לקמט זה. את שרידיו בסלע החיפוי, בהופעה של קמט 'רפאים', תארנו לעיל (בתחנה 6, בתמונה 8 ובציור 12).

לאורך הערוץ המנקז ממערת ארובותים מזרחה מתגלות שכבות תצורת עמורה. בקרבת בסיס החתך החשוף, סמוך לפתח המערה, מתגלה פרט המלח (As) בעובי כ-6 מ', והשכבות כמעט אנכיות. ממנו ולעבר הכביש מזרחה חשוף פרט החוואך (Am), בנטיות מתונות יותר. הוא מורכב שכבות דקות ולמינות של ארגוניט, גבס, אנהידריט ומלח הליט, וכן של קרבונטים דטרטיטים, סילט ולימוניט (רווד, 1976; זק, 1967). על פני השלוחה מצפון לערוץ נראים מספר אופקים המכילים פקעות של גפרית, בחלקן עם גלעין פיריט. העתק המחדר גובל בין גוף מלח סדום במערב, לבין תצורת עמורה במזרח. שכבות עמורה נדחקו והורמו, ונטייתן תלולה בקרבת המחדר (תמונה 13), והולכת ומתמתנת עם הריחוק מזרחה.



רשימה ביבליוגרפית בעברית

- אידלמן, ע., 1979. הגיאולוגיה של שולי הערבה באזור עין יהב - רמת צופר. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי ממ/79/10.
- אייל, ע., 1984. הגיאולוגיה של הערבה ושוליה המערביים באזור עין-יהב - חצבה. המכון הגיאולוגי, דו"ח ראשוני.
- אלרון, א., 1980. הגיאולוגיה של אזור נחל צין (גליון חצבה, חלק צפוני). עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי ממ/79/6.
- ארקין, י., 1980. מילון יחידות המפוי הגיאולוגי בישראל, נדבכים בגיאולוגיה של ישראל. האוניברסיטה הפתוחה.
- ארקין, י., 1982. עדויות חדשות על שדה מאמצים פעיל לאורך בקע ים המלח. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי באילת ומזרח סיני.
- ארקין, י., שליין, נ., חרש, א., 1984. מצוק ההעתקים של ים המלח. מדריך סיורים, החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בערד.
- בגין ז.ב., 1988. אגם הלשון - אביהם הקדמון של הכנרת וים המלח, מדע, ל"א (3).
- בן תור, י., פרומן, ע., 1951. המפה הגיאולוגית של ישראל 1:100,000 גליון 18, עבדת.
- בן תור, י., פרומן, ע., 1957. המפה הגיאולוגית של הנגב 1:100,000 גליון נחל הערבה.
- בר, ג., 1981. הגיאולוגיה של קו עריף-בתור, אזור מעלה מישר. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי ממ/81/5.
- ברטוב, י., 1974. השברים ומבני הכיפות של מרכז סיני: בעיות סטרוקטורליות ופליאוגיאוגרפיות. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
- ברטוב, י., 1984. תארוך יחסי של תנועות בבקע - עדויות חדשות. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בערד.
- גבריאלי, א., 1987. מקור גופי ההליט בדרום ים המלח. המכון הגיאולוגי, דו"ח מספר GSI/11/87.
- גבירצמן, ג., 1969. חבורת סקיה (אאוקן מאוחר עד פלייסטוקן מוקדם) במישור החוף והשפלה; ישראל. בולטין מס' 51 של המכון הגיאולוגי.
- גרדוש, מ., 1987. סטרטיגרפיה וטקטוניקה צעירה באגן ים המלח. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
- גרסון, ר., 1972. תהליכים גיאומורפיים בהר סדום. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

דויטש, ש., 1986. ביוסטרטיגרפיה ופליאואקולוגיה של בולימינידים (פורמיניפרים בנתונים) בקרטיקון העליון בישראל. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

הילדברנד-מיטלפלדט, נ., שילוני, י., 1985. ייחודו של "החתך הביטומיני" באזור נחל צין. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי ביטבתה.

זילברמן, ע., 1977. הגיאולוגיה של קו סער-נפחא, רמת עבדת. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי, ממ/6/77.

זק, י., 1967. הגיאולוגיה של הר סדום. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

טננבאום, א., 1983. מחקרים בגיאוכימיה של נפטים ואספלטים באזור ים המלח. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

יחיאלי, י., 1987. הגיאולוגיה של צפון בקע הערבה ואנטיקלינת מחמל, אזור חצבה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/30/87.

כץ, א., גנאור, י., ספרברג, מ., 1987. דרכי יצירה של גופי הליט בדרום ים המלח. תקציר הרצאה בכנס על מחקרי ים המלח, 24 בדצמבר 1987.

לוי, י., 1987. ים המלח: תמורות הידרוגרפיות, גיאוכימיות וסדימנטולוגיות במשך חצי יובל 1959-1984. המכון הגיאולוגי.

לויטה, ד., 1966. התופעות המגמטיות בערבה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

מור, א., 1987. הגיאולוגיה של מדבר יהודה, אזור נחל דרגה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, וכן דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/21/87.

מילר, א., 1983. שדה ירקעם דרום (דו"ח מסכם) - דו"ח פו"ב מס' 114/83 ג.

נתן, י., שחר, י., 1977. מאספי מינרלים פוספטיים יבשתיים באי התאמות סנוניות בדרום ישראל. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בזכרון יעקב.

סודרי, ד., מור, א., 1985. סקר פוספוריטים בשולי הערבה הצפונית (סיכום ממצאים) - דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/19/85.

סטרינסקי, א., 1974. יחסי גומלין בין תמלחות C-כלורידיות לסלעי משקע בישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

עגנון, א., 1983. התפתחות אגני השקעה ומורפוטקטוניקה באזור דרום מצוק ההעתקים המערבי של ים המלח. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

ערן, ג., 1982. לינאמנט חצרה, עדות אפשרית לפעילות קמוט פוסט פליוקנית במבנה חצרה. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי באילת ומזרח סיני.

פנצר, ג., גרוס, ש., שילוני, י., נתן, י., 1988. מינרלים שהוגדרו לאחרונה בסלעי פוספט ברזלי האופייניים לאיזורי אי התאמה בגבול מישאש-ע'רב. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בעין בוקק.

פערעלמאן, י.ש., מקאליש (עורך), תש"ח. פרקי רבי אליעזר. הוצאת "יצחקי", לנדסברג.

פרוינד, ר., זק, י., 1973. נדידת ההתקמטות והשבירה לאורך מבנים גיאולוגיים. טבע וארץ, כרך טו', חוברת 6.

פרומקין, ע., 1982. התפתחות פירים ומערות בסלע מלח בהר סדום. נקרות צורים 6.

פרומקין, ע., 1984. קמינים קרסטיים בסובב ים-תיכוני (עפרה, ישראל). עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

רווד, י., 1976. תצורת עמורה בבקע ים המלח, סדימנטולוגיה וסביבות השקעה אבפוריטיות של קרבונטים וסולפטים באגן טקטוני יבשתי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

רווד, ר., 1983. המפה הגיאולוגית של ישראל 1:50,000, גליון III-19-אורון - דברי הסבר למפה, המכון הגיאולוגי.

רווד, ר., שילוני, י., קוק, פ., גינזבורג, ד., רוטנברג, ק., נחמיאס, י., 1972. שדות הפוספטים לאורך נחל צין (דו"ח כללי) - דו"ח המכון הגיאולוגי, מ.פ. 530/72.

רוט, י., 1970. הגיאולוגיה של אזור ואדי אל-קילט. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

רוט, י., 1977. קונגלומרטים על מצוקי ים המלח. נופים; עיונים בידעת הארץ בהוצאת מכון אבשלום, חוברת 4.

רז, א., 1983. הגיאולוגיה של מדבר יהודה, אזור עין גדי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, דו"ח המכון הגיאולוגי, ס/83/3.

רז, א., 1986. המפה הגיאולוגית של ארץ ישראל 1:50,000, גליון עין גדי. המכון הגיאולוגי, ירושלים.

שולמן, נ., 1962. הגיאולוגיה של עמק הירדן המרכזי. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

שטייניץ, ג., 1974. הסטרוקטורות הדפורמטיביות בשכבות הצור הסנוני של ארץ ישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

שטרית, ד., 1986. ירקעם צפון, דו"ח גיאולוגי וסיכום עתודות הפוספט - דו"ח פו"ב 43/85.

שיפטן, ז., 1956. וולקניסם ניאוגני בעין יהב. ידיעות החברה לחקירת ארץ ישראל ועתיקותיה, שנה כ', ג-ד תשט"ז.

שילוני, י., 1983. גלישות צעירות של גושי סלע טורוניים באיזור שלמרגלות מעלה העקרבים. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בנצרת.

שילוני, י., 1988 (א). שדה עקרבים: אפיון גיאולוגי של שדה הפוספטים - דו"ח בהכנה.

שילוני, י., 1988 (ב). שינויים בתכולת חומר אורגני של קטעי חתך תצורות מישאש וע'רב המעידים על תהליכי חימצון מאוחרים (ניתוח תצפיות מנחל צין). החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי בעין בוקק.

שילוני, י., נחמיאס, י., 1972. סקר גיאולוגי לפוספטים בשדות ירקעם עקרבים וחצרה. דו"ח המכון הגיאולוגי, מ.פ. 533/72.

שילוני, י., פלדליט, מ., 1980. שדה עקרבים - סיכום ממצאים קודמים והצעה לקידוחים משלימים - דו"ח ספ"א והמכון הגיאולוגי, מ.פ.ב.ק. 427/80.

שילוני, י., רודד, ר., 1974. שדה הפוספטים של עין עופרים. דו"ח המכון הגיאולוגי, מ.פ. 519/74.

שילוני, י., שחר, י., 1969. שדה הפוספטים של עין עופרים - דו"ח המכון הגיאולוגי, מ.פ. 196/69.

רשימה ביבליוגרפית באנגלית

- Agnon, A., 1984. The Geology of the En Bogeq-Har Sedom Area. Unpubl. M.Sc. Thesis. Hebrew Univ. Jerusalem.
- Agnon, A. and Zak, I., 1983. Geological map of Israel, 1:50,000. (a) Neve Zohar sheet, (b) Sedom sheet. Isr. Geol. Surv.
- Arkin, Y., 1980. Unconsolidated sensitive clay in the Lisan Fm. Sedom, Southern Dead Sea Basin. 5th Conf. Min. Eng. Qiryat Anavin, Dec. 1980
- Arkin, Y., 1982. Mediterranean-Dead Sea Project. Outline and Appraisal 1982. Med.-Dead Sea Co. Ltd.
- Arkin, Y., 1986. Geotechnical factors influencing marl slopes in Israel. Ph.D. Thesis, Univ. London, 387p.
- Arkin, Y. (in press). Large scale tensional features along the Dead Sea-Jordan Rift Valley.
- Arkin, Y. and Braun, M., 1965. Type sections of Upper Cretaceous Formations in the Northern Negev (Southern Israel). Strat. Sect. No. 2, Isr. Geol. Surv.
- Arkin, Y., Braun, M. and Itzhaki, Y., 1967. Cenomanian mapping units and their correlation in the Negev. Isr. Geol. Surv. Bull. 43, pp. 15-19.
- Arkin, Y. and Hamaoui, M., 1967. The Judea Group (Upper Cretaceous) in Central and Southern Israel. Isr. Geol. Surv. Bull. 42.
- Arkin, Y. and Hirsch, F., 1982. Proposed Dead Sea Works Conveyor Alignment - Preliminary Geotechnical Survey. Isr. Geol. Surv. Rep. EG/6/82.

- Arkin, Y. and Michaeli, L., 1986. The significance of Shear Strength in the Deformation of Laminated Sediments in the Dead Sea. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 35, No. 2, pp. 61-72.
- Bartov, Y. and Arkin, Y., 1975. Geophotomap of Israel, scale 1:500,000 based on ERTS Imagery. *Isr. Geol. Surv.*
- Bartov, Y., Arkin, Y., Lewy, Z. and Mimran, Y., 1981. Regional stratigraphy of Israel. A guide for geological mapping. *Isr. Geol. Surv.*
- Bartov, Y., Eyal, Y., Garfunkel, Z. and Steinitz, G., 1972. Late Cretaceous and Tertiary stratigraphy and Paleogeography of Southern Israel. *Isr. J. Earth-Sci.* 21, pp. 69-97.
- Bartov, Y. and Steinitz, G., 1983. Senonian Ostreid Bioherms in the Negev, Israel. Implications on the paleogeography and environment of deposition. *Isr. J. Earth-Sci.*, 31, pp. 17-23.
- Begin, Z.B., 1975. The geology of the Jericho sheet. Geological map series (1:50,000). *Isr. Geol. Surv. Bull.* 67.
- Begin, Z.B., Broecker, W., Buchbinder, B., Druckman, Y., Kaufman, A., Magaritz, M. and Neev, D., 1985. Dead Sea and Lake Lisan levels in the last 30,000 years—a preliminary report. *Isr. Geol. Surv.*, GSI/29/85, 18 p.

- Begin, Z.B., Ehrlich, A. and Nathan, Y., 1974. Lake Lisan, the Pleistocene precursor of the Dead Sea. *Isr. Geol. Surv. Bull.* 63, 30 p.
- Begin, Z.B., Nathan, Y. and Ehrlich, A., 1980. Stratigraphy and facies distribution in the Lisan Formation - new evidence from the area south of the Dead Sea. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 29, pp. 182-189.
- Ben-Avraham, Z., Beyth, M., Rotstein, Y. and Eitam, Y., 1984. Recent faults in the Lynch Straits, southern Dead Sea. *Isr. Geol. Soc., Ann. Meet.*, 1984, p.86.
- Bender, F., 1974. Explanatory notes on the geological map of the Wadi Araba, Jordan. (Scale 1:100,000, 3 sheets). *Geol. Jahrb., Reihe B*, 10, 62 p.
- Bentor, Y.K. and Vroman, A., 1956. Geological map of Israel, series A, sheet 21, Mount Omer, 1:100,000. *Isr. Geol. Surv.*
- Bentor, Y.K. and Vroman, A., 1957. The geological map of the Negev, 1:100,000, sheet 19, Nahal Arava. *Isr. Geol. Surv.*
- Bentor, Y.K. and Vroman, A., 1960. The geological map of Israel, 1:100,000, sheet 16, Mount Sedom, with explanatory notes. 2nd. ed. *Isr. Geol. Surv.*
- Beyth, M., 1980. Recent evolution and present stage of Dead Sea brines. IN: *Developments in Sedimentology*, No. 28 (Ed., A. Nissenbaum), Elsevier, pp. 115-164.

- Blake, G.S. and Solomonica, P., 1940. Geological report on the oil prospecting licences Nos.12 and 13, granted to the Palestine Mining Syndicate.
- Blanckenhorn, M., 1912. Naturwissenschaftliche Studien am Toten Meer und im Jordantal. Berlin, Friedlaender u. Sohn, 478 p.
- Boegli, A., 1980. Karst hydrology and physical speleology. Springer Vlg., 284 p.
- Bowman, D., 1971. Geomorphology of the shore terraces of the Late Pleistocene Lisan Lake (Israel). Paleogeogr., Paleoclim., Pleistoc., vol. 9, pp. 183-209.
- Buchbinder, B., 1980. Morphology, microfabric and origin of stromatolites of the Pleistocene precursor of the Dead Sea, Israel. IN: Phanerozoic Stromatolites (Ed., C. Monty). Springer Vlg., pp. 181-196.
- Buchbinder, B., Begin, Z.B. and Friedman, G.M., 1974. Pleistocene algal tufa of Lake Lisan, Dead Sea area. Isr. J. Earth-Sci., vol. 23, pp. 131-138.
- Charrach, J., 1986. Genesis of halite islands in the southern basin of the Dead Sea. Isr. Geol. Soc., Ann. Meet. 1986, pp. 26-27.
- Dan, J., 1981. Soils of the Arava Valley. IN: Aridic Soils of Israel (Dan, J., Gerson, R., Koyumdjisky, H. and Ya'alon, D.H.). The Volcanic Center, pp. 297-342.
- Davis, W.M., 1930. Origin of limestone caverns. Geol. Soc. Am. Bull. 41, pp. 475-628.



- Donini, G., Rossi, G., Forti, P., Buzio, A., Calandri, G.  
and Frumkin, A., 1985. Monte Sedom. Gruppo Grotte  
Milano, 135 p.
- Druckman, Y., Magaritz, M. and Sneh, A., 1987. The  
shrinking of Lake Lisan, as reflected by the diagenesis  
of its marginal oolitic deposits. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 36, pp. 101-106.
- Flexer, A., 1968. Stratigraphy and facies development of  
the Mt. Scopus Group (Senonian-Paleocene) in Israel  
and adjacent countries. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol.  
17, pp. 75-114.
- Freund, R., 1965. A model of the structural development of  
Israel and adjacent areas since Upper Cretaceous times.  
*Geol. Mag.*, vol. 102, pp. 189-205.
- Freund, R., Zak, I. and Garfunkel, Z., 1968. Age and rate  
of the sinistral movement along the Dead Sea Rift.  
*Nature*, vol. 220, pp. 253-255.
- Gardosh, M., 1987. Water composition of Late Quaternary  
lakes in the Dead Sea Rift. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol.  
36, pp. 83-89.
- Garfunkel, Z., 1981. Internal structure of the Dead Sea  
leaky transform (rift) in relation to plate kinematics.  
*Tectonophysics*, vol. 80, pp. 81-108.
- Garfunkel, Z., Zak, I. and Freund, R., 1981. Active  
faulting in the Dead Sea Rift. *Tectonophysics*, vol.  
80, pp. 1-26.
- Garrels, R.M. and Christ, C.L., 1965. Solutions, minerals  
and equilibria. Harper and Row, N.Y.

- Giurgiu, I., 1985. Cavities du sel (a list). Spelunca 18, p. 18.
- Giurgiu, I., Silvasanu, G. and Tarquinius, Y., 1980. Observatii asupra carstului pe sare din zona Meledic (M.Buzau). Pestera 6S de la Minzalesti. Bull. Club Spel. Emil Rascovita. Bucuresti, pp. 55-66.
- Goodfriend, G.A., Magaritz, M. and Carmi, I., 1986. A high stand of the Dead Sea at the end of the Neolithic period: Paleoclimatic and archeological implications. Climatic Change 9, pp. 349-356.
- Hirsch, F. (in press). Geological map, sheet 19-II, sheet 1:50,000, Hamakhtesh Haqatan, with explanatory notes. Isr. Geol. Surv.
- Hirsch, F. and Honigstein, A., 1985. Pre-Santonian Campanian events during the formation of the Hazeva anticline, NE Negev, controlled by ostracode biostratigraphy. Isr. Geol. Surv. Cur. Res. 5, pp. 34-39.
- Horowitz, A. and Zak, I., 1968. Preliminary palynological analysis of an evaporitic sequence from Mount Sedom (Israel). Rev. Paleobot. Palynol., vol. 7, pp. 25-30.
- Indurain, J., Beltran, J., Mascarilla, C. and Badiella, E., 1986. Forat Mico (cave map and tour guide). 9th Congr. Int. de Espel., Barcelona, 17, 43 p.
- Jakucs, L., 1977. Morphogenetics of karst regions. Akademiai Kiado, Budapest. 284 p.

- Katz, A., Kolodny, Y. and Nissenbaum, A., 1977. The geochemical evolution of the Pleistocene Lake Lisan-Dead Sea system. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, vol. 41, pp. 1609-1626.
- Kaufman, A., 1971. U-series Dating of Dead Sea basin carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 35, pp. 1269-1281.
- Klein, C., 1981. The influence of rainfall over the catchment area on the fluctuations of the level of the Dead Sea since the 12th century. *Isr. Meteorol. Res. Pap.*, vol. 3, pp. 24-58.
- Klein, C., 1982. Morphological evidence of lake level changes, western shore of the Dead Sea. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 31, pp. 67-94.
- Kronfeld, J. and Livnat, A., 1987. Uranium-Series Dating of Rift Valley Travertines and Lacustrine Deposits: Paleoclimatic Implications and Stratigraphic Application. Report submitted to the Ministry of Energy and Infrastructure, Israel.
- Landes, K.K., 1961. Effects of solution of bedrock salt in the Earth's crust. *Northern Ohio Geol. Soc., Symp. on Salt*, pp. 64-73.
- Lartet, L., 1869. *Essai sur la geologie de la Palestine*, etc. *Ann. Sci. Geol.*, vol. 1, Paris.
- Levy, Y., 1980a. Seasonal changes in Dead Sea chemical composition 1979/80. *Isr. Geol. Surv. Rep. MG/7/80*, 9 p.

- Levy, Y., 1980b. A quantitative approach to the recent halite precipitation in the Dead Sea. *Isr. Geol. Surv. Rep. MF/4/80*, 12 p.
- Livnat, A. and Kronfeld, J., 1985. Paleoclimatic Implications of U-series Dates for Lake Sediments and Travertines in the Arava Rift Valley, Israel. *Quat. Research* 24, pp. 164-172.
- Loehnerberg, A. and Loewenstein, A., 1940. Report on geoelectric measurements in the area south and southwest of the Dead Sea. Palestine Mining Syndicate Ltd.
- Lucas, J., Flicoteaux, R., Nathan, Y., Prevot, L. and Shahar, Y., 1980. Different aspects of phosphatic weathering. *SEPM Special publication*, No. 29, pp. 41-51.
- Manspeizer, W., 1985. The Dead Sea Rift: Impact of climate and tectonism on Pleistocene and Holocene sedimentation. IN: *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. SEPM special publication*. No. 37, pp. 143-158.
- May, P., 1968. Gravimetric estimation of depth of aquifers in the Hazeva area, Arava Valley, Israel. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 17, pp. 30-43.
- Mylroie, J. E., 1977. *Speleogenesis and karst geomorphology of the Helderberg Plateau, Schoharie County, New York. New York cave survey, Bull.* 2, 336 p.

- Nathan, Y. and Shahar, Y., 1977. Continental phosphate mineral assemblages in Senonian unconformities, southern Israel. Proc. Isr. Geol. Soc., Ann. Meet. Zikhron Ya'acov, pp. 28-29.
- Neev, D. and Emery, K. D., 1967. The Dead Sea: depositional processes and environments of evaporites. Isr. Geol. Surv. Bull. 41, 147 p.
- Neev, D. and Hall, J. K., 1978. The Dead Sea geophysical survey. Isr. Geol. Surv. Rep. MG/1/78.
- Neev, D. and Hall, J. K., 1979. Geophysical investigations in the Dead Sea. Sedimentary Geol., vol. 25, pp. 205-238.
- Petroleum Services Ltd., 1977. Feasibility study - solution mined liquid hydrocarbon storage caverns, Mt. Sedom, Israel. Progress Rep. No. 1. Diversified Storage Inc., Tel Aviv, 50 p.
- Petroleum Services Ltd., 1979. Feasibility study - solution mined liquid hydrocarbon storage caverns, Mt. Sedom, Israel. Progress Rep. No. 2. Tel Aviv, 12 p.
- Pfeiffer, D. and Hahn, J., 1972. Karst of Germany. IN: Karst - important karst regions of the Northern Hemisphere, (Eds. Herak, M. and Ptringfield, Y.T.). Elsevier, pp. 189-223.
- Picard, L., 1943. Structure and evolution of Palestine. Geol. Dept., Hebrew Univ., Jerusalem.
- Picard, L., 1959. Geology and oil exploration of Israel. Bull. Res. Counc. Israel., vol. G8, pp. 1-30.

- Picknett, R. G., Bray, L. G. and Stenner, R. D., 1976. The chemistry of cave waters. IN: The science of speleology, (Eds. Ford, T. D. and Cullingford, C. H. D.). Academic Press, pp. 213-266.
- Reches, Z. and Hoexter, D.F., 1981. Holocene seismic and tectonic activity in the Dead Sea area. Tectonophysics, vol. 80, pp. 235-254.
- Roded, R., 1985. Preliminary observations on Late Quaternary stream terraces along Nahal Zin. Isr. Geol. Surv. Rep. GSI/45/85.
- Rosenfeld, A. and Vesper, B., 1977. The variability of sieve-pores in Recent and fossil species of Cyprideis torosa (Jones, 1950) as an indicator for salinity and paleosalinity. IN: Aspects of Ecology and Zoography of Recent and Fossil Ostracoda, (Eds. Loffler, H. and Danielopol, D). Dr. W. Junk, B.V. Publ., pp. 55-67.
- Sandler, A. and Zilberman, E., 1985. Sandstone and shale in the Nezer Formation, northern Negev. Isr. Geol. Surv. Rep. GSI/3/85.
- Sass, E. and Kolodny, Y., 1972. Stable isotopes, chemistry and petrology of carbonate concretions (Mishash Formation, Israel). Chem. Geol., vol. 10, pp. 261-286.
- Shahar, Y., Reiss, Z. and Gerry, E., 1966. A new outcrop of marine Neogene in the Negev. Isr. J. Earth-Sci., vol. 15, pp. 82-84.

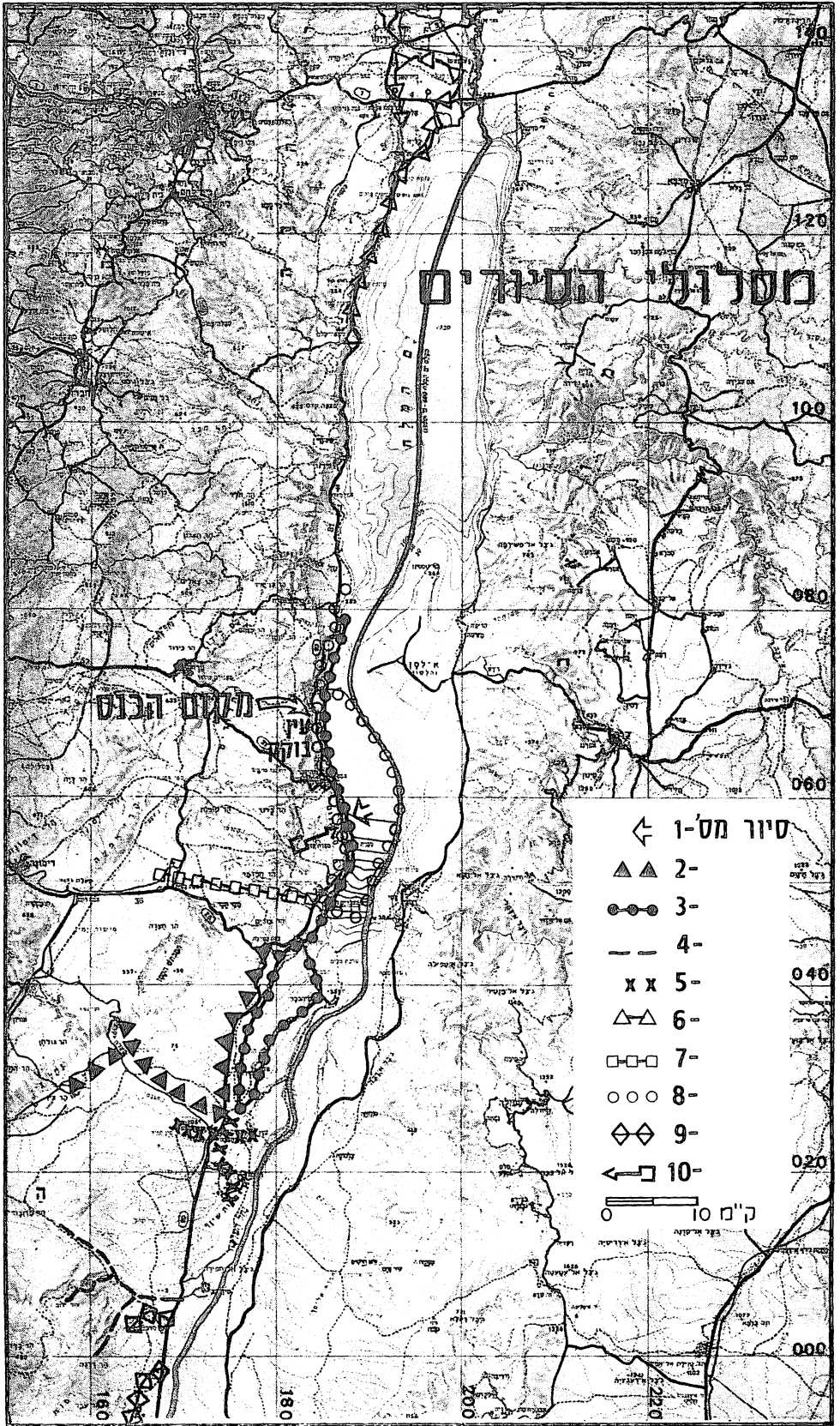
- Shalem, N., 1958. The karst in the salt mountain of Sedom. Zeme Congr.Int. Spel. Bari-Lecce-Salerno, No. 5, 12, pp. 353-355.
- Shapira, A., 1981. Assessment of the potential earthquake risk in Israel and adjacent areas. Isr. J. Earth-Sci., vol. 30, pp. 135-141.
- Shaw, S.H., 1947. Geological map of Palestine 1:250,000 with explanatory notes. Govt. Pal.
- Shaw, T.R., 1979. History of cave science. Crymych, Wales, 393 p.
- Shilo, M. and Oren, A., 1984. Investigations on the microbiology of the Dead Sea. Report No. 6, Hebrew Univ., Jerusalem.
- Sneh, A., 1979. Late Pleistocene fan-deltas along the Dead Sea rift. J. Sedim. Petrol., vol. 49, pp. 541-551.
- Sneh, A., 1981. The Hazeva Formation in the Northern Arava, Israel. Isr. J. Earth-Sci., vol. 30, pp. 81-91.
- Sneh, A., 1982. Quaternary of the northwestern Arava. Isr. J. Earth-Sci., vol. 31, pp. 9-16.
- Steinitz, G., Bartov, Y. and Hunziker, J.C., 1978. K-Ar age determinations of some Miocene-Pliocene basalts in Israel: Their significance to the tectonics of the Rift Valley. Geol. Mag., vol. 115, No. 5, pp. 329-340.
- Vroman, A. J., 1951. The movement and solution of salt bodies as applied to Mount Sodom. Isr. Explor. J., vol. 1, pp. 185-193.

- Wyllie, B. K. N., 1931. The geology of Jebel Usdum, Dead Sea. *Geol. Mag.*, vol. 68, pp. 366-372.
- Winklehner, H., 1982. Salzvorkommen in Sued-Persien. *Ost. Z. Berg. u. Huttenw.*, 40, 581 p. (cited in Shaw, 1979).
- Wu, F.T., Karcz, I., ArieH, E., Kafri, U. and Peled, U., 1973. Micro earthquakes along the Dead Sea Rift. *Geology*, vol. 1, pp. 159-161.
- Zak, I. 1960(a). Contribution to the geology of the Mount Sedom area. *Bull. Res. Counc. Israel*, vol. 9G, pp. 168-169.
- Zak, I., 1960(b). Mount Sedom area, general geological survey and geochemical prospecting for potassium. *Isr. Geol. Surv. Int. Rep.*, 22 p., appendices, maps.
- Zak, I., 1974. Sedimentology and bromine geochemistry of marine and continental evaporites in the Dead Sea basin. *4th Int. Symp. on Salt. Ohio. Geol. Soc., Cleveland*, No. 1, pp. 349-361.
- Zak, I., 1980. The geochemical evolution of the Dead Sea. *5th Symp. on Salt. Ohio Geol. Soc., Cleveland*, No. 1, pp. 181-184.
- Zak, I. and Freund, R., 1980. Strain measurements in eastern marginal shear zone of Mount Sedom salt diapir, Israel. *AAPG Bull.*, vol. 64, pp. 568-581.
- Zak, I. and Freund, R., 1981. Asymmetry and basin migration in the Dead Sea rift. *Tectonophysics*, vol. 80, pp. 27-38.
- Zak, I., Karcz, Y. and Key, C. A., 1968. Significance of some sedimentary structures from Mount Sedom. *Isr. J. Earth-Sci.*, vol. 17, pp. 1-8.



## רשימות

## רשימות



# מסלולי הסיוורים

## מקום הכנסת

סיור מס' 1

- ▲▲ 2-
- 3-
- 4-
- x x 5-
- △△ 6-
- 7-
- 8-
- ◇◇ 9-
- ← 10-

ק"מ 10

140

120

100

80

60

40

20

0

160

180

200

220

ק"מ 10



