

סיוור 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, CVIJC). 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 ( $\text{Na Cl}$ ), להלן: סלע מלח, מערות מלח). מערות מסוג זה כמעט ולא נלמדו כלל. ספר יסוד מודרני שנושא 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 הספלאולוגית 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 הנוותרות בולטות ויוצרות רכסים, ושכבות המלח היוצרות עמקים. התבליט בהר סדום מבוטר 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 בממוצע אחת לשנה, בשעת גשם מקומי המתרחש בדרך כלל בגלל שקע ים סוף.

המערה חוצה כאן את מישור ההעתק המזרחי של דיאפיר סדום, פעילותו העכשוית 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 הלחול 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

קרבונטיים), וכרוך בהתאדות המים בחלל במערה. ה"מדפים" הינם ספלאוגנים טיפוסיים 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)

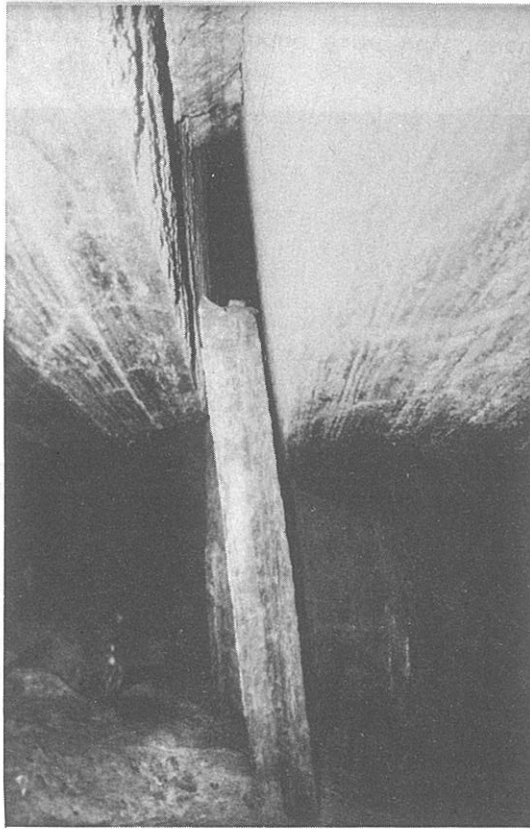
המחילה עוברת כאן לאורך מישור העתק החלקה פעיל. חתך הרוחב של המחילה וצנירי הזרימה מופרע על ידי ההעתקים. המחילה המשכיה להתפתח בד בבד עם תזוזות ההעתקים, והתוצאה היא מורפולוגיה משולבת של המסה והעתקה.

#### תחנה 10: קוביות מלח

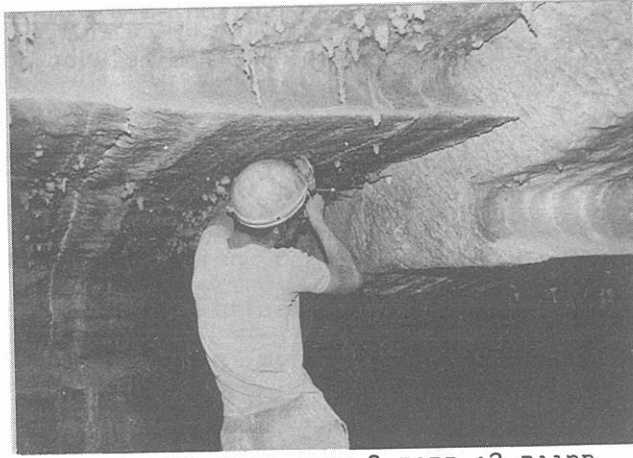
גבישים קוביים של מלח נוצרו בתוך סדקים שהיו מלאים במי תמלחת, בטרם התרומם חלק זה של הדיאפיר אל מעל בסיס הניקוז, ובטרם נוצרה המחילה.

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

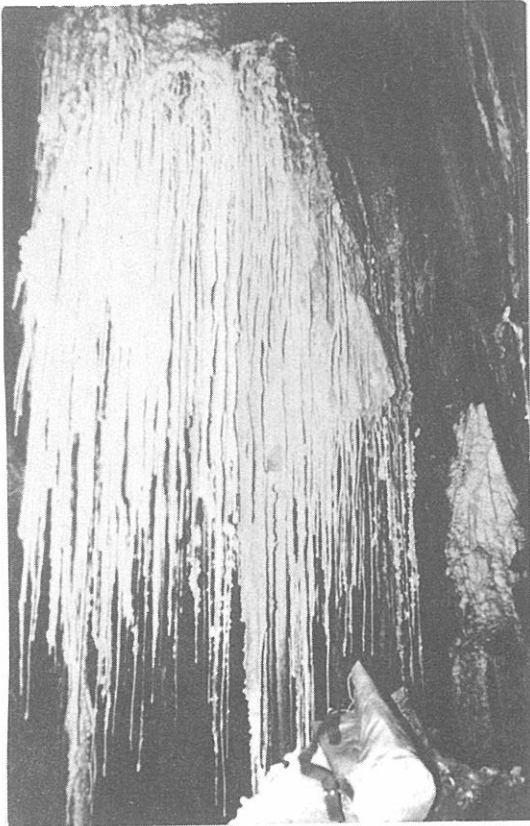
תחנה 12: הפיר הדרומי (תמונה 4)  
פיר בליעה שבו עובר הנחל הדרומי לערוצו התת קרקעי. פרופיל המחילה נעשה תלול בסמוך לפיר, בדומה לפרופיל האורך של ערוצים עיליים. בדופן הפיר - פתחי מחילות קדומות מעל מחילת הזרימה הנוכחית. הפיר נמצא בתוך דולינת התמוטטות שנוצרה בגלל התמוטטות תקרת המחילה הקדומה.



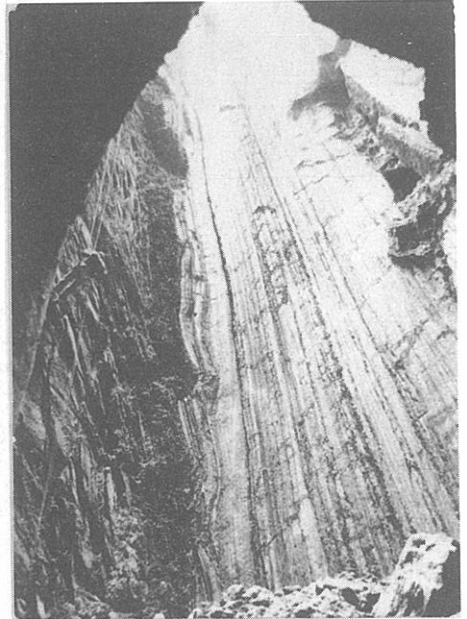
תמונה 1: "הגליוטינה" מערת מלחיים נחל מרכזי



תמונה 2: תחנה 8 העתק קוטע צניר המסה



תמונה 3: היכל הנטיפים



תמונה 4: מבט למעלה בפיר