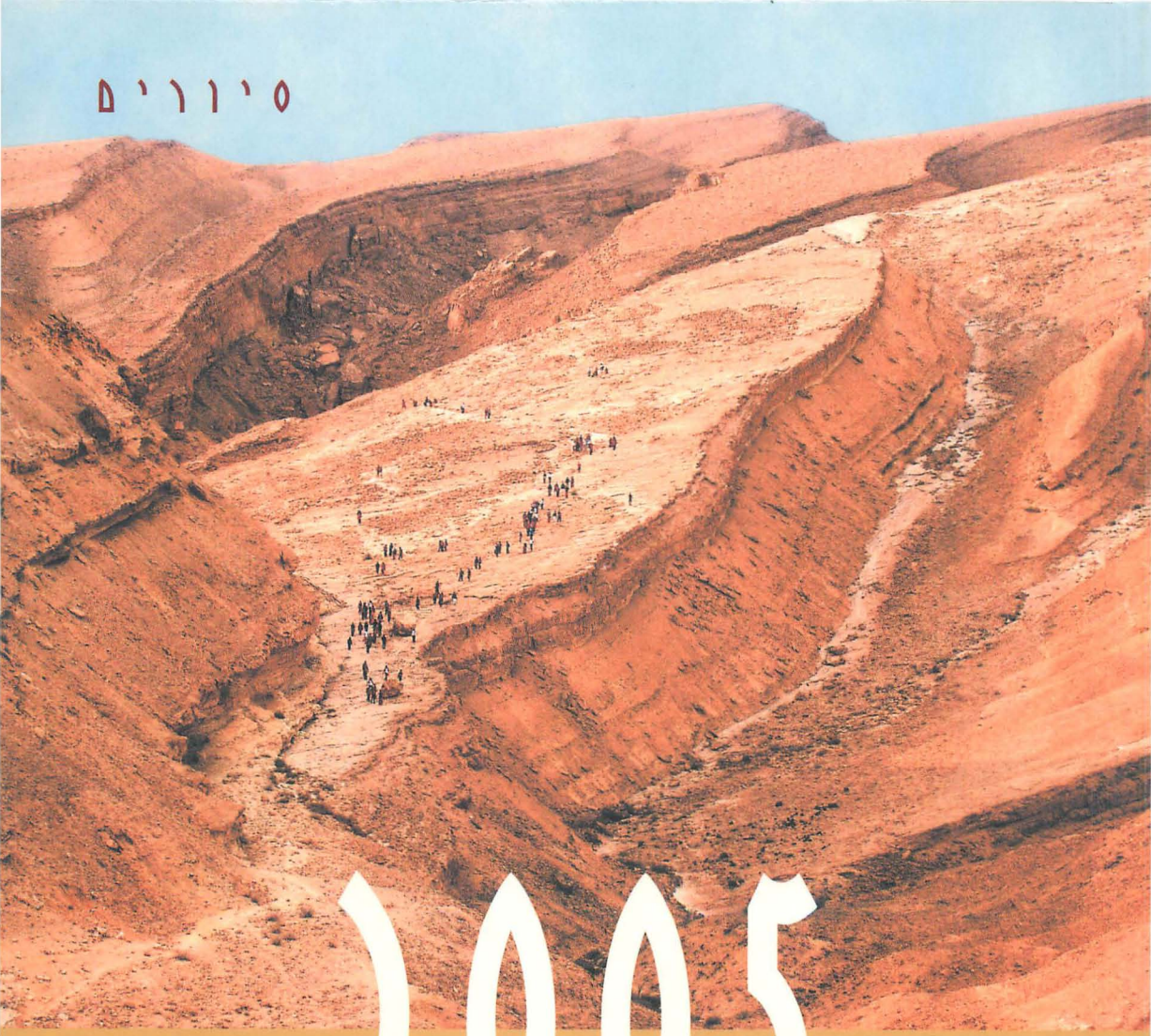
ס'ו'ו'ם



2005

החברה הגיאולוגית הישראלית
הכנס השנתי

מ ש א ב י ם

סיכום

5-7.4.2005

2005

החברה הגיאולוגית הישראלית
הכנס השנתי

עריכה: מיקי גרדוש

משאבים

הפקה: סטודיו אפרת 2000 (02-6522144)
עיצוב הכריכה: נאוה מוסקו

התמונה בכריכה: מעלה עקרבים
צילום: עזרא צחור

החברה הגיאולוגית הישראלית מודה למוסדות הבאים על השתתפותם ותרומתם לכנס החברה בכפר המופש משאבים:

- מכון צוקרברג לחקר המים, אוניברסיטת בן גוריון בנגב
- הפקולטה למדעי הרוח, אוניברסיטת חיפה
- המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים
- המחלקה למדעי הגיאולוגיה והסביבה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- US-AID (Middle East Research Cooperation Project. MERC)
- רותם אמפרט נגב בע"מ
- משרד התשתיות הלאומיות
- האגף לקשרי ציבור, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- הפקולטה למדעים והוראתם, אוניברסיטת חיפה
- המכון הגיאולוגי
- המכון הגיאופיסי לישראל
- מועצה אזורית רמת נגב

חברי ועד החברה הגיאולוגית לשנת 2004-2005:

- נשיא- יוסי חצור
- סגנית נשיא- מרים בר-מטיוס
- מזכירה- סיגל אברמוביץ
- מרכז פעולות- מיקי גרדוש
- גזברית- ענת ברנשטיין
- מנהל אתר אינטרנט- איליה וינשטיין
- חבר- מיכאל צסרסקי

חברי ועדת פרס החברה הגיאולוגית ע''ש ד''ר פרץ גרדר ז''ל לשנת 2005:

יוסי חצור, דב אביגד, עמוס ביין

חברי ועדת פרס החברה הגיאולוגית ע''ש פרופ' רפי פרוינד ז''ל לשנים 2004-2005:

יוסי חצור, אהובה אלמוגי- לבין, אמוץ עגנון, שמוליק מרקו, שמעון פיינשטיין

חברי ועדת המדליה של החברה הגיאולוגית לשנת 2005:

יוסי חצור, עודד נבון, רונית נתיב

מנהל הקרן ע"ש ד"ר פרץ גרדר ז"ל- רני קלבו

ועדת ביקורת- שמוליק מרקו ורמי וינברגר

החברה הגיאולוגית מודה לרבקה עיני, ארי מלכסון, שלומית יובל, ושחר כורם על עזרתם בארגון הכנס והכנת חוברות התקצירים והסיורים.

תוכן עניינים

סיור לאורך נחל בשור בעקבות קו החוף הפליוקני
עזרא זילברמן ורבקה אמית 1

זרימת מי תהום והסעת מזהמים בקרטון הסדוק של רמת חובב
אילון אדר, ענת ברנשטיין, עופר דהן, נועם ויסברוד, יונתן לרון, רונית נתיב, דני קורצמן 20

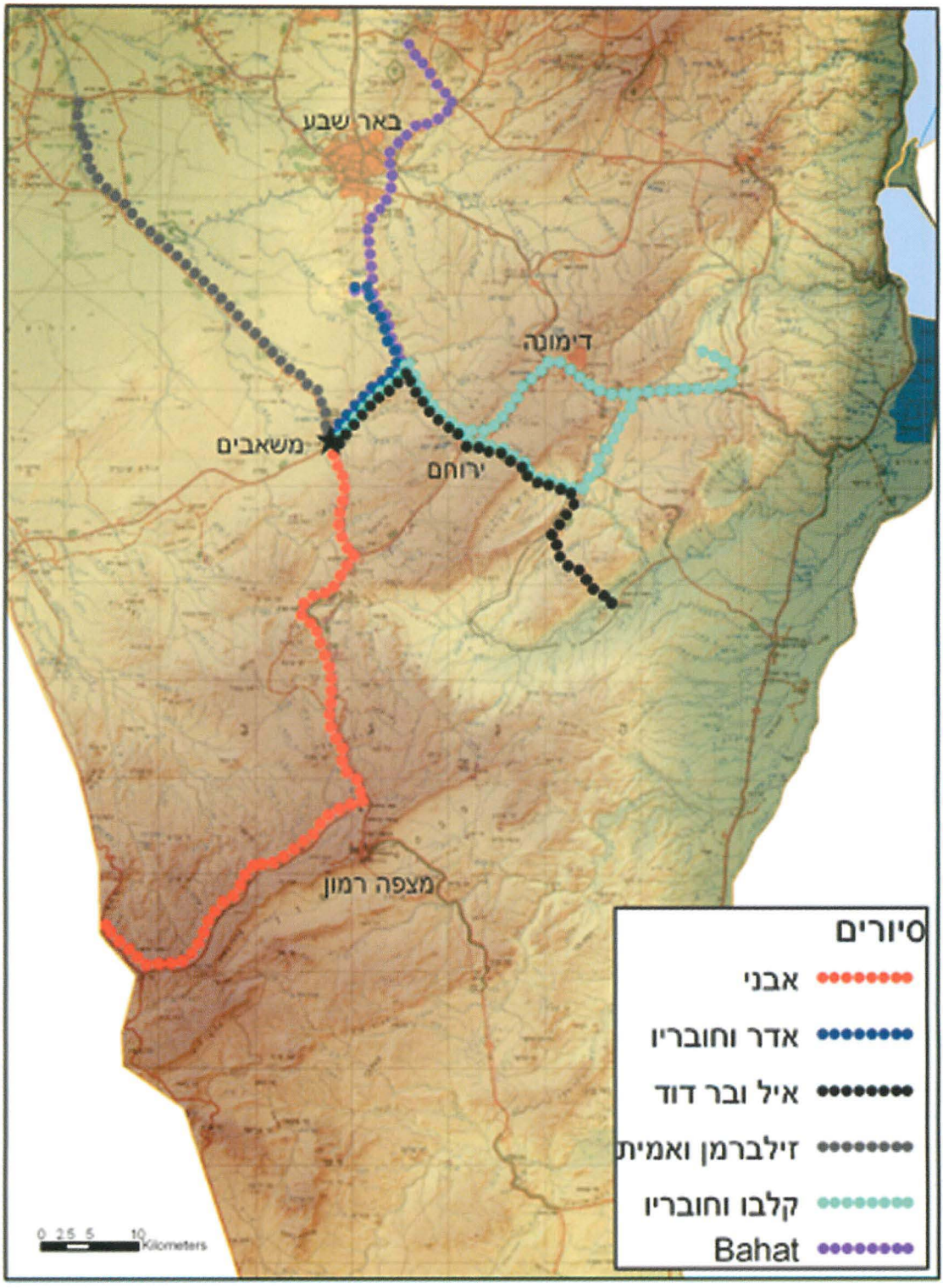
חבורת חצבה באגנים הפנימיים של הנגב הצפוני: סטרטיגרפיה, טקטוניקה ופליאוגיאוגרפיה
רן קלבו, יוסף ברטוב, דוד ויינר 50

סיור במכרה הפוספטים בנחל צין הצגת פעילות הכרייה ומגוון תופעות שנחשפו על ידה
עמיר איל וניר בר דוד 74

קווי השבירה במרכז הנגב, מערב רמת עבדת ומבנה רמון
יואב אבני 85

Multi-phase tectonics around Beer Sheve
Dov Bahat 110

מסלולי סיורים- כנס משאבים 2005



סיור לאורך נחל בשור בעקבות קו החוף הפליוקני

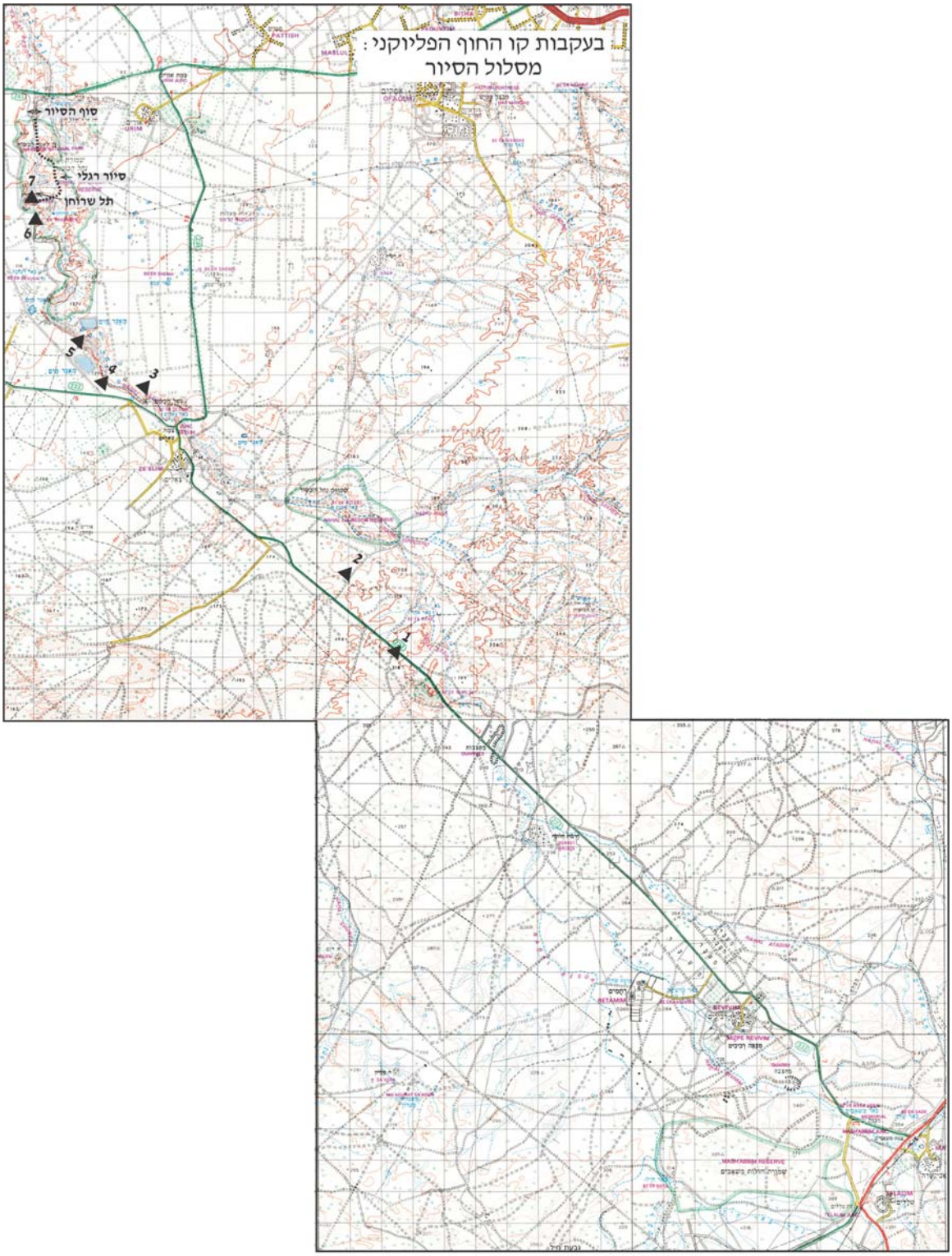
עזרא זילברמן ורבקה אמית

המכון הגיאולוגי, מלכי ישראל 30, ירושלים 95501

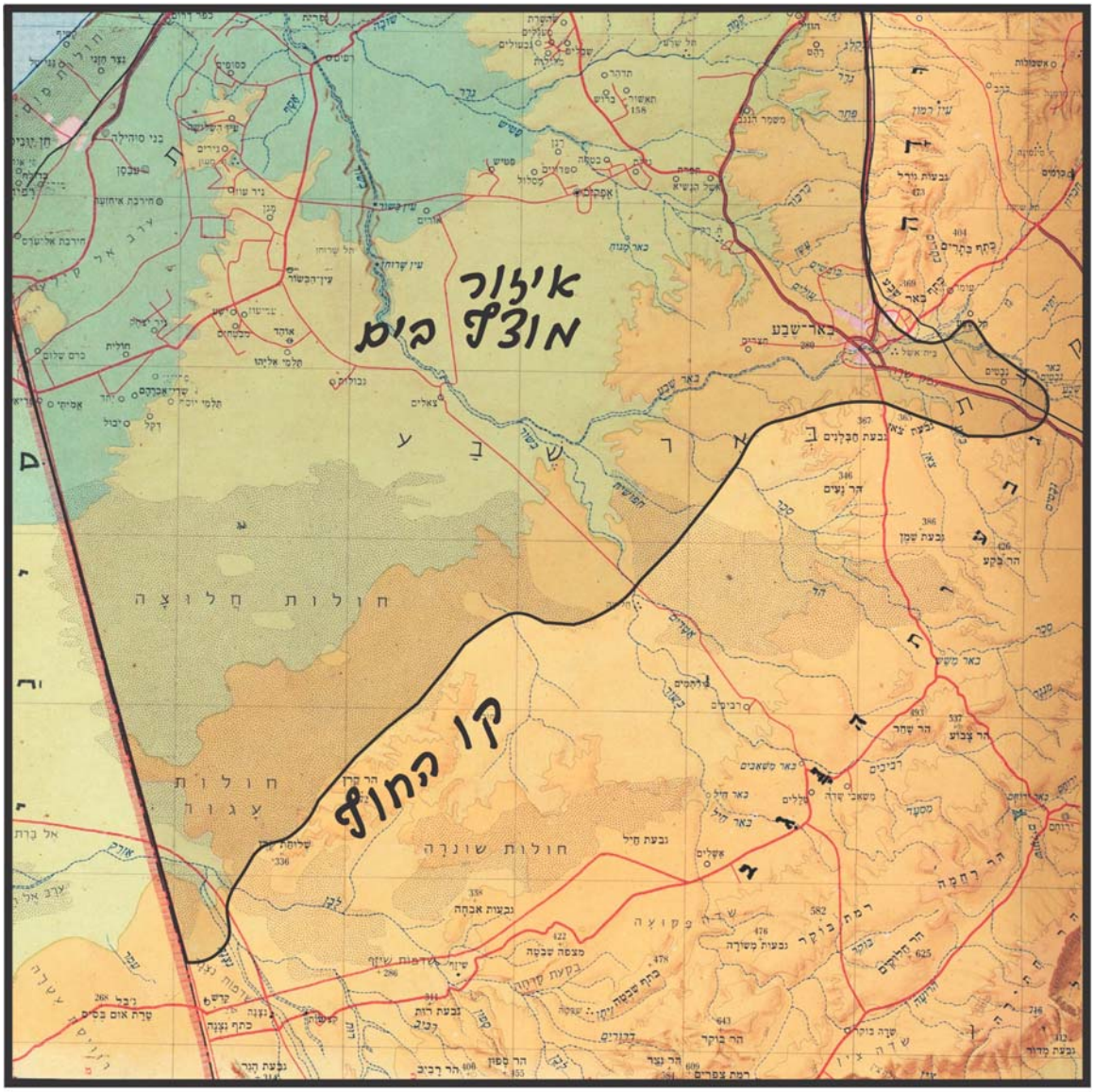
1. מבוא

את תקופת הפליוקן מאפיינים 7 מחזורי הצפה ונסיגה של הים שעוצמתם הולכת ודועכת בהדרגה מתחילת התקופה אל סופה (Haq et al., 1988). קו החוף של מחזור ההצפה הראשון הנו המזרחי ביותר, בעוד שקווי החוף של ההצפות הצעירות יותר נמצאים מערבה ממנו. קו החוף של ההצפה הפליוקנית הראשונה השתרע לרגלי השפלה הגבוהה באזור הרי יהודה ושולי גבעות להב וגורל בנגב הצפוני. בבקעת באר שבע חדרה לשון ים עד רכס עירא ואולי אף מזרחה יותר (Gvirtzman and Buchbinder, 1969). מדרום לבקעת באר שבע השתרע קו החוף ממזרח לנחל באר שבע עד לאזור חלוצה ומשם אל שולי רכס קרן-רוגם (איור 2). לאורך שוליו המערביים של הרכס ניתן לזהות מתלול שנוצר כאשר חלקים מהאגף הצפון מערבי של המבנה גודדו על ידי פעולת הגלים לאורך קו החוף.

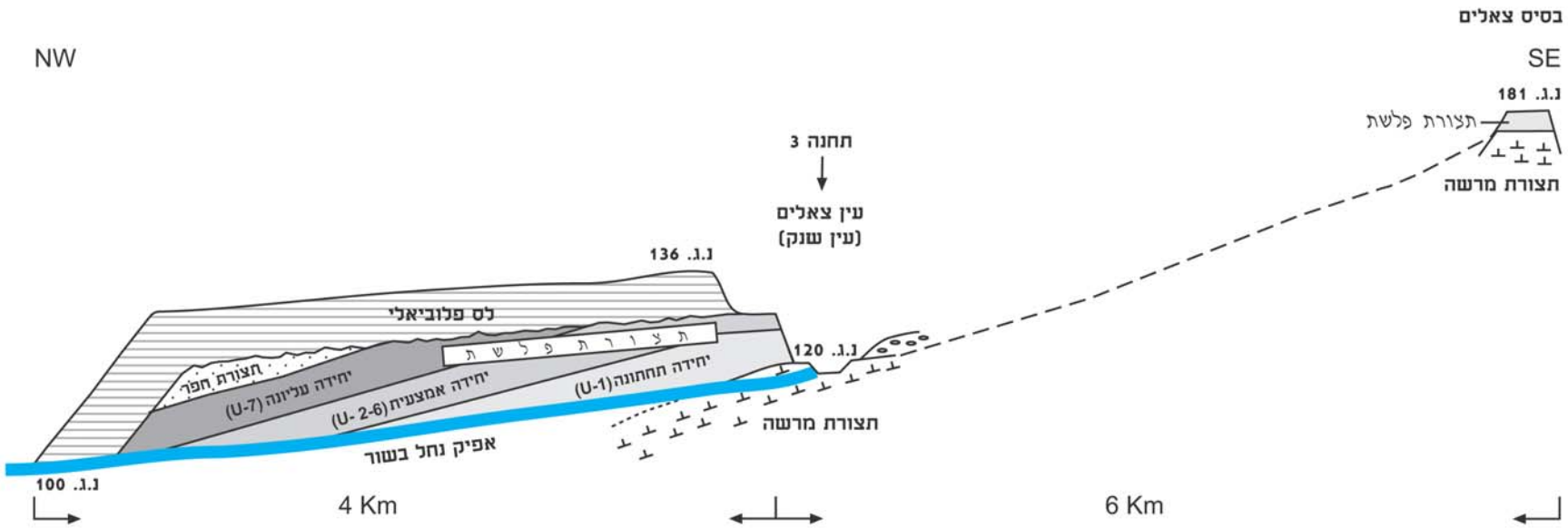
ממערב לקו החוף השתרע מדף יבשה רדוד מאד שהיה נתון לפעילות גידוד במשך רוב תקופת הפליוקן המוקדם וחלק מהפליוקן המאוחר. רוחבו של מדף זה הגיע עד לכ- 20 ק"מ ואולי אף יותר והוא מכוסה ברצף של סדימנטים שהורבדו בים רדוד, הכלולים בתצורת פלשת (Picard and Solomonica, 1936). באזור הנגב המערבי, מדרום מזרח לצאלים, מכוסה תצורת פלשת הימית באי התאמה אירוזיבית על ידי הקונגלומרט של תצורת אחוזם שהורבד על ידי מערכות נחלים שניקזו את אזור הר הנגב אל חוף הים הפליוקני הנסוג. מצפון מערב לצאלים, מכוסה תצורת פלשת על ידי סדימנטים ימיים רדודים, כורכר וקרקעות חוליות של תצורת חפר מתקופת הפליוקן המאוחר והפלייסטוקן המוקדם והתיכון. לאורך נחל בשור הורבדו סדימנטים פלוביאליים מגיל פלייסטוקן מאוחר באי התאמה ארוזיבית על תצורות פלשת וחפר (איור 3). מטרת הסיור הינה להציג את קו החוף הפליוקני ומאפייניו הסדימנטולוגיים והמורפולוגיים באזור הנגב המערבי. במסגרת הסיור נסקור חתכים של תצורות פלשת ואחוזם שנשמרו על גבי מפלסים מורמים באזור חלוצה ולאורך אפיק נחל בשור מצפון מערב לצאלים. נבחן חתכים של תצורת חפר שהורבדו בסוף הפליוקן בקרבת החוף באזור תל שרוחן וחתכי לס פלוביאלי שקברו את עמק נחל בשור בתקופת הקרח האחרונה. במשך הסיור נדון במשמעויות הפאלאוגיאוגרפיות של יחסי אי ההתאמה בין היחידות הפליוקניות והפלייסטוקניות לאורך נחל בשור.



איור 1. מפת המסלול



איור 2. שחזור קו החוף בשיא ההצפה הפליוקנית בדרום ישראל



איור 3. חתך סכמתי של החתך הפליו-פלייסטוקני לאורך נחל בשור מצפון מערב לעין צאלים

1.1 החתך של תצורת פלשת בנגב המערבי

תצורת פלשת מורכבת מסדימנטים סיליסיקלסטים וקרבונטים ביחסים כמותיים וסטרטיגרפיים מורכבים. סדימנטים אלה הורבדו על גבי מדף היבשה שהיה מכוסה לסרוגין בים רדוד במשך כל תקופת הפליוקן . בבקעת באר שבע חולק החתך של תצורת פלשת לשש יחידות על ידי Goldbery (1980) בעוד ש Buchbinder and Zilberman (1997), זיהו 7 יחידות סדימנטריות (Units 1-7), המייצגות את ששת מחזורי ההצפה והנסיגה הנמצאים בהתאמה לתנודות העולמיות של מפלס הים כפי שהוצגו ע"י Haq et al (1988). באזור הנגב המערבי, ניתן להבחין בתצורת פלשת בשלושה מחזורי הרבדה המיוצגים על ידי שלוש יחידות סדימנטריות (איור 4).

היחידה התחתונה (קורלטיבית ל Unit-1 באזור בקעת באר שבע)

יחידה זאת מייצגת את מחזור ההצפה הפליוקני הראשון שהיה הנרחב ביותר ולכן ניתן למצוא אותה גם בחלקה המזרחי של תעלת באר שבע וגם על גבי המדף הרדוד שהשתרע דרומה עד לאזור נחל בשור.

לאורך נחל בשור נשמרו מחשופים של יחידה זאת עד אזור חלוצה, כאשר בכל המרחב היא מונחת בדרך כלל ישירות על מישור גידוד בגג חבורת עבדת וגדועה בגגה על ידי קונגלומרט אחוזם (תחנות 1,2).

בבקעת באר שבע נמצאו עדויות לחשיפת גג היחידה לתהליכי סחיפה, בלייה ופדוגנזה (יצירת קרקעות קלציות ואופקי קלקריט) לפני הרבדת רצף היחידות הימיות המונח מעליה (Buchbinder and Zilberman, 1997).

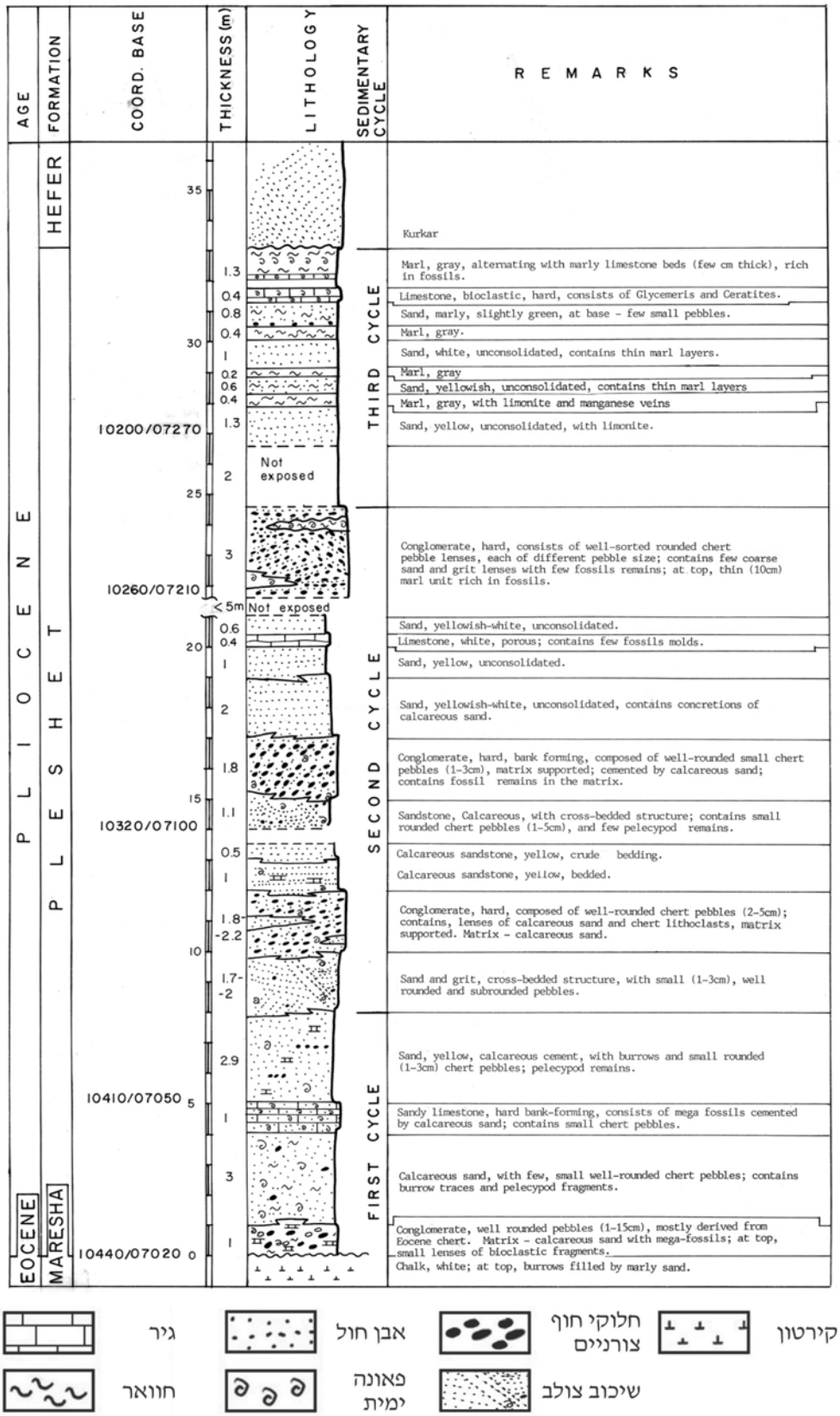
היחידה מורכבת בדרך כלל מאבן חול חסרת סטרוקטורות סדימנטריות המכילה שרידי נבירות של בעלי חיים ימיים שחלקם אף חודר אל תוך סלע הקירטון בחבורת עבדת. השימור של שרידי הביוטורבציה והעדר סטרוקטורות סדימנטריות מעיד שהתצורה הורבדה בדרך כלל מתחת לבסיס הגלים. מאחר שיחידה זאת נמצאה גם באזור חלוצה, ניתן להסיק שבזמן הרבדתה היה אזור זה מכוסה בים שעומקו 10-15 מ' וקו החוף היה מזרחה יותר, יתכן שבסביבת רביבים. ממזרח לחלוצה הוסר הכיסוי של תצורת פלשת על ידי תהליכי סחיפה הקשורים להרבדת קונגלומרט אחוזם, אך יש לציין שחלוקים שנגזרו מפאציאס ימי רדוד נמצאו בתוך הקונגלומרט גם ממזרח למחשופי תצורת פלשת.

מערבה יותר, באזור עין צאלים, מאפיין פאציאס עמוק יותר את בסיס תצורת פלשת (תחנה 3). באזור זה מכיל החתך סדימנטים המורכבים מתערובת של חלוקי צור מעוגלים שמקורם בקרבת החוף וחול המכיל פאונה ימית. ביחידות אלה ניתן לראות סטרוקטורות המעידות על כך שהן הגיעו למקומן בתהליכי גלישה תת-ימיים, כנראה מאזור שפך נחל בשור לים.

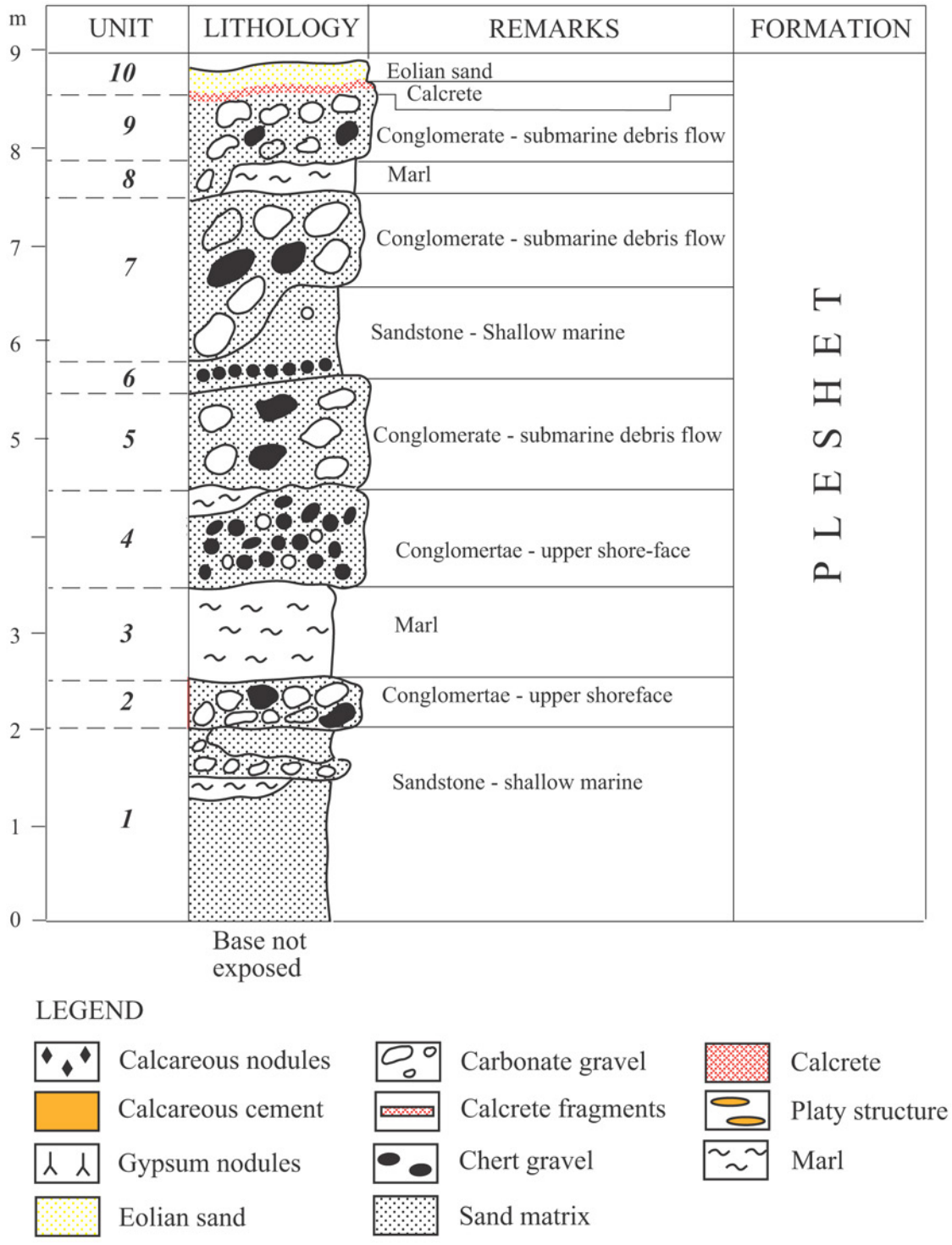
היחידה האמצעית (קורלטיבית ל Units 2-6 באזור בקעת באר שבע)

יחידה זאת הורבדה באזור נחל בשור במחזור ההצפה השני והיא מורכבת מפאציאס חופי וימי רדוד.

באזור באר שבע ניתן להבחין בחלק זה של החתך במספר מחזורי הצפה ונסיגה בהם הורבדו יחידות



איור 4. חתך מורכב של תצורת פלשת בתחנות 3-5 (המקור: זילברמן, 1986)



איור 5. החתך של תצורת פלשת בתחנה 2 (המקור: Amit et al., 2002)

2-6 שאינן ניתנות לזיהוי באזור נחל בשור. המגע בין היחידה התחתונה והאמצעית הוא חד ונראה שהוא מציין אי התאמה שמקורה בהפסקה בתהליך ההרבדה ובארוזיה (תחנות 2,3). היחידה האמצעית מכילה סלעי חוף, אבני חול עם סטרוקטורות של שיכוב צולב מסוגים שונים, קונגלומרטים חופיים, שרטונות חלוקים שנוצרו באזור המשברים בקרבת החוף (תחנה 4) וסדימנטים שהצטברו בגופי מים רדודים מאחורי קו החוף. את הקונגלומרטים החופיים מאפיינים חלוקים ממוינים ומעוגלים של צור, חלקם דיסקואידים. השרטונות מורכבים גם הם בעיקר מחלוקים צורניים מעוגלים המלוכדים על ידי מטריקס חולי-ביוקלסטי. באזור שפך נחל הבשור לים הפליוקני (תחנה 2; איור 5) נמצאים קונגלומרטים המכילים בולדרים של גיר וצור שעברו תהליך שחיקה חלקי על ידי הגלים, בתערובת עם חלוקי חוף צורניים קטנים ומעוגלים. על חלק מחלוקי הגיר נמצאו עדויות לבליה שמקורה בפעילות של צמדת ים (אצות ורכיכות) וכן קדיחות של צדפות מהסוג Lithophaga. סלעי החוף מכילים כמות גדולה של צדפות בתערובת עם חלוקי חוף במטריקס חולי-ביוקלסטי.

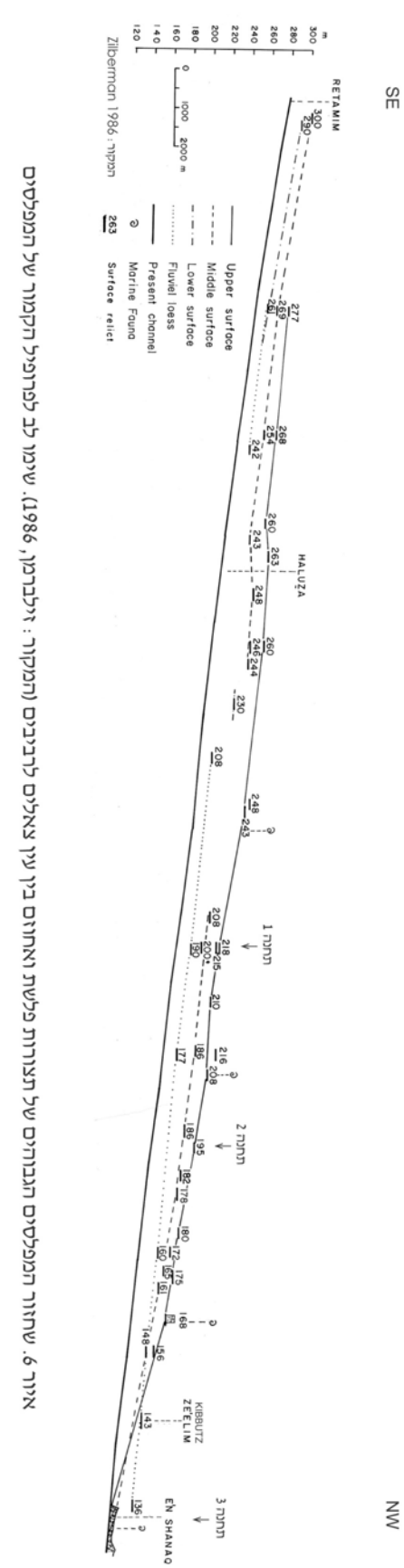
היחידה האמצעית מציינת הרדדה של הסביבה הימית בה הורבדה היחידה התחתונה ותזוזה של קו החוף לצפון מערב מאזור רביבים לקרבת צאלים (אזור תחנות 2,3) . היא הורבדה בסביבה ימית בעלת אנרגית גלים גבוהה שיצרה שרטונות חלוקים על פני רצועה רחבה של מדף היבשה.

היחידה העליונה (קורלטיבית ל Unit 7 באזור בקעת באר שבע)

יחידה זאת הורבדה במחזור ההצפה השלישי והיא חשופה רק לאורך נחל בשור מצפון מערב לצאלים (תחנות 6, 5). היא מונחת במגע חד על רצף הסלעים הרדודים של היחידה האמצעית ומכוסה באי התאמה בקרקעות קלציות חוליות שהתפתחו בחתך של חול אאולי השייך לתצורת חפר . עובייה כ- 6 מ' והיא בנויה מחילופין של חוואר חרסיתי, אבני חול ימיות ואופקים של חוואר גירי עשיר בצדפות ושבלולים (Cerithids) ימיים. בקרבת תל שרוחן מורכב חתך זה בעיקר מאבן חול שבחלקה העליון התפתח פרופיל של קרקע סילטית-חרסיתית בעלת מבנה פריזמתי. יחידה 7 הורבדה באגן שקט בסביבה של מים ברקיים, כנראה אסטואר או גוף מים בעל קשר חלקי לים הפתוח . יחידה זאת מהווה את גג תצורת פלשת באזור נחל בשור, אך חסרה באזורים נרחבים צפונה יותר (Buchbinder and Zilberman, 1997).

1.2 מפלסים פליוקניים וביטוים בנוף הנגב המערבי

מישור הגידוד השטוח המעצב את מדף היבשה הפליוקני, הנו אלמנט גיאומטרי מרחבי ששרידיו פזורים על פני כל שפלת הנגב והשפלה הנמוכה מצפון לבקעת באר שבע. שרידי מפלס זה ניתנים לזיהוי בעזרת משארים של תצורות פלשת ואחוזם שנשמרו עליו ומאפשרים לבצע קורלציה מורפוסטרטיגרפית על פני שטחים נרחבים ולשחזר את המפלס המקורי של המדף. ניתן להניח שהמפלס המקורי היה בעל שיפוע קטן לצפון מערב בכוון



איור 6: חתך רוחבי של המפלסים הפליוקניים באזור צאלים (מתוך: זילברמן, 1986).

הים העמוק, ולכן, סטייה ממגמה זאת של המפלס המשוחזר יכולה לרמז על דפורמציה טקטונית של המפלס היכולה להתבטא בקימוט (אם הוא הורם לאחר שננטש) או מדרגות גידוד (אם הוא הורם תוך כדי הרבדת תצורת פלשת).

שיחזור של מפלסים פליוקניים נעשה בעבר על פני כל מרחב הנגב המערבי (Zilberman, 1986; זילברמן, 1991) (איור 6). מחקר מורפוסטרטיגרפי נוסף שהתמקד באזור שבין צאלים לרביבים נעשה על ידי Greenbaum and Ben David, (1998). קורלציה בין המפלסים התבצעה על בסיס מחקר של הקרקעות שהתפתחו על פני מפלסים אלה לאורך נחל בשור (Amit et al., 2002). באזור הוגדרו חמישה מפלסים עתיקים לפלייסטוקן, היוצרים סדרה מורפוסטרטיגרפית לאורך נחל בשור. קיימת התאמה בין דרגת התפתחות הקרקעות ואופקי הקלקריט על גבי המפלסים, לבין עמדתם הסטרטיגרפית, כאשר אופק הקלקריט המפותח ביותר נמצא על גבי המפלס העליון שהוא העתיק ביותר (Amit et al., 2002). המפלס העליון שהוא מפלס מדף היבשת הפליוקני עליו הורבדה היחידה התחתונה של תצורת פלשת (Unit 1), הוא הנרחב ביותר בנוף. מפלס זה מייצג את מישור הגידוד הימי ומישורי הסחף שלרגלי ההרים שעוצבו על ידי הנחלים שהתנקזו אל הים וניתן לעקוב אחריו מאזור צאלים ועד שולי הר הנגב. לאורך מפער נחל בשור בקמרי הקשת הסורית (חלוקים בוקר ושבטה), נמצאה סדרת טרסות נטושות המתלכדות עם המפלס הפליוקני באזור אשלים. טרסות אלה הן שרידים של קרקעית נחל בשור הפליוקני (זילברמן, 1991) והן נמשכות מזרחה דרך מישור שדה צין עד רמת דיבשון בשולי רמת עבדת (Zilberman, 1986).

באזור רביבים נמצא המפלס העליון בגובה של כ- 30 מ' מעל מערכת הנחלים הנוכחית והוא מתרומם עד לגובה של כ- 50 מ' מעליהם באזור חלוצה (תחנה 1). לאחר מכן הוא נוחת לצפון מערב ונעלם מתחת

לכיסוי של תצורת פלשת באזור עין צאלים (תחנה 3; איור 6). לדעת Zilberman (1986), מגמת ההתרוממות מעל אזור חלוצה מבטאת תגובה לפעילות של שבר קרן-רוגם-חצרים, שהוא שבר הפוך הנמשך בתת הקרקע מתחת לאזור המורם. שבר זה נמשך מסיני במערב דרך המבנים של קרן, רוגם, וחצרים עד לדרום הר חברון. במסגרת הסיור נעקוב אחרי שרידי המפלס של תצורת פלשת וקונגלומרט אחוזם מאזור חלוצה ועד לצאלים.

1.3 תצורת חפר (לפי עבודת הגמר של רחל מנשה, 2003)

תצורת חפר חשופה בעיקר באזור תל שרוחן שם היא מונחת באי התאמה על הפאלאוסול שבגג היחידה העליונה של תצורת פלשת (איורים 7 ,8). התצורה מורכבת מרצף של 31 יחידות סדימנטריות שהורבדו בתהליכים אאוליים, חלקן בסובב של מרבדי חול (Sand sheet) שהצטברו ממזרח לרצועת הדיונות החופיות, וחלקן בסובב של רצועת הדיונות החופיות הבונות כיום את רכס הכורכר הנמצא מצפון לתל שרוחן. ברוב היחידות התפתחו קרקעות קלציות שדרגת התפתחותן מצביעה על אקלים בו כמות הגשם השנתית השתנתה בטווח של 200-100 מ"מ. ניתן להבחין בחתך במספר מחזורי הרבדה שכל אחד מייצג שינויים בסובב הקשורים למיקום קו החוף ביחס לתל שרוחן ובהתאם למשטר הרוחות.

מעל תצורת פלשת מונחת יחידה חרסיתית שהורבדה ככל הנראה בגוף מים מקומי. מעליה מונח רצף של יחידות חול דיונרי צהבהב (יחידות 10-2), המכילות קרקעות קלציות בדרגת התפתחות נמוכה (לרוב דרגה II). רצף זה שעוביו כ- 10 מ', מייצג הצטברות בלתי רציפה של חול דיונרי בסובב של מרבדי חול (Sand Sheets) הרחק מקו החוף. העדר סטרוקטורות סדימנטריות והתפתחות הקרקעות מצביעים על קצב הצטברות איטי שלווה בביוטורבציה ופדוגנזה שטשטשו את השיכוב המקורי. המגעים בין היחידות אינם תמיד ברורים וחלקם מלווים בעדויות למעט ארוזיה אאולית (דפלציה) או תהליכי סחיפה מקומיים על ידי נגר עילי, דבר המצביע על הפסקות קצרות בין אירועי חדירת החול לאזור.

מעל רצף הקרקעות החוליות מונח באי התאמה רצף של אאוליניטים ביוקלסטים דיונריים, שבחלקם נשמרו סטרוקטורות של שיכוב צולב. רצף זה בונה את רכס הכורכר מצפון לתל שרוחן ואת בסיס המתלול של התל. עובי יחידת הכורכר, המורכבת בתל שרוחן מארבעה מחזורי הרבדה (יחידות 14-11), מגיע עד ל 10 מ', אך הוא משתנה במרחב מאחר ולא כל היחידות רציפות. המגעים החדים בין יחידות הכורכר והתפתחות קרקעות בחלק מהם תוך טשטוש הסטרוקטורות הסדימנטריות, מעידים שהצטברות החתך לא הייתה רציפה.

מצפון לתל, בקרבת פארק אשכול, ניתן לראות קשר רציף בין קו חוף המיוצג על ידי סלעי חוף (Beach rocks), לבין שכבת הכורכר התחתונה הנגזרת ממנו. מאובני צדפות שנאספו מסלע החוף באזור זה מייצגים לדעת לוי (דברים בע"פ) את תקופת הפליוקן המאוחר.

סלעי החוף ורצף יחידות הכורכר מציין טרנסגרסיה שהגיעה בפליוקן המאוחר עד תל שרוחן. יחידת הכורכר התחתונה נוצרה מסדימנט ביוקלסטי שנגזר מקו החוף החשוף באזור והיחידות המונחות מעליה

נגזרו ככל הנראה מקו חוף שהיה מערבה לתל שרוחן, אך במרחק לא גדול שאיפשר עדיין את שימור המרכיבים הביוקלסטים בדיונות החופיות.

מעל הכורכר מונחות שתי יחידות חוליות (יחידות 16-15) שעובין הכולל כ- 2.5 מ', המכילות עדיין מעט מרכיבים ביוקלסטיים, אך לא בכמות המספקת ליצירת כורכר. ביחידות אלה התפתחו קרקעות קלציות והן מכילות שרידי שורשים ונבירות. הן מייצגות תהליך נמשך של נסיגת קו החוף מערבה תוך הקטנת כמות החול וכמות המרכיבים הביוקלסטיים המגיע לאזור תל שרוחן. בתקופות בהם האקלים היה מתון, קטן קצב הצטברות החול והתאפשרה התפתחות של צמחיה וקרקעות על פני מרבדי החול. בתקופות בהם שרר משטר של רוחות חזקות, עברו פני השטח תהליכי דפלציה (סחיפה של החול על ידי הרוח) שיצרו על פני השטח ריכוזים של תצבירי קרבונט רזידואליים שנותרו לאחר שנסחפה הקרקע החולית.

את החתך סוגר רצף של קרקעות חוליות (יחידות 31-17) שהתפתחו בסובב של מרבדי חול(Sand Sheets), הרחק מקו החוף. כל הקרקעות הן קלציות בדרגות התפתחות שונות ומכילות עדויות לביוטורבציה. ניתן לחלק אותן לשתי קבוצות בהתאם לכמות הסילט בחתך, המייצג תרומה אאולית של אבק: יחידות 22-17 מכילות בדרך כלל פחות מ 20% סילט ולכן צבען נוטה לצהבהב. יחידות 31-22 מכילות ברובן 30-50% סילט וצבען נוטה לחום.

העליה בתרומת האבק לחתך החולי יכול לרמז הן על שינוי אקלימי הקשור בתשומה רבה של לס לאזור והן על קצב הצטברות איטי מלווה בפדוגנזה. אך מאחר שאין שינוי בדרגת התפתחות הקרקעות בין שתי הקבוצות, אנו נוטים לקשור את תוספת הסילט לשינוי אקלימי המלווה בסופות אבק רבות.

גיל בסיס רצף הקרקעות המונח מעל הכורכר (יחידה 17) נקבע בעזרת שיטות לומיניסנסיה ל- ±30ka 532 וגיל היחידה העליונה (31) נקבע ל - 334±23ka שנה (גילים אלה נמצאים בגבול היכולת של השיטה ולכן יש להתייחס אליהם בזהירות). מדידות פאלאומגנטיות שנעשו בחתך מצביעות על אפשרות שחלקו התחתון (מתחת לכורכר) הורבד בין תחילת תקופת ההיפוך Matuyama (לפני 2.58 מליון שנה) לבין סוף תקופת הפליוקן (זמן הרבדת סלע החוף הקשור לכורכר התחתון). מכאן עולה שתקופת הפלייסטוקן התחתון אינה מיוצגת בחתך וקיימת אי התאמה גדולה בין יחידת הכורכר לרצף הפאלאוסולים שמעליה. יצוין שחוקרים קודמים (ניר, 1970; Horowitz, 1979; שכנאי, 1967) ייחסו את רכס הכורכר להצפה הסיצילית מגיל פלייסטוקן מוקדם. נראה שנושא זה עדיין פתוח למחקר נוסף.

רצף הסדימנטים האאוליים של תצורת חפר בתל שרוחן מייצג שינוי בסובב החופי ביחס לתקופת הרבדת תצורת פלשת. עד הרגרסיה שחשפה את גג היחידה העליונה בתצורת פלשת לתהליכי פדוגנזה, לא התפתחו דיונות לאורך קו החוף הפליוקני. לא ברור אם הדבר נבע ממחסור בחול, מאופי זרמי החוף או ממשטר הרוחות, אך מאחר שבסדימנטים הפליוקניים יש עדויות רבות לאנרגית גלים גבוהה סביר לקשור העדרות זאת לכמות קטנה של חול שהגיעה למדף היבשה הרדוד בתקופת הפליוקן המוקדם. יש לזכור שבתקופת הנסיגה המסינית בסוף המיוקן, נוצר קניון עמוק לאורך הנילוס שהגיע עד אסואן. לכן, לאחר ההצפה הפליוקנית של הים התיכון, נוצר במקום מפרץ צר וארוך שעיכב את תנועת החול אל הים התיכון בעוד שהחרסית והסילט שנעו ברחופת, הגיעו לים התיכון כבר בתחילת הפליוקן ויצרו את תצורת יפו. רק לאחר מילוי הקניון התת-ימי בסדימנטים פלוביאליים התאפשרה הגעת כמויות חול גדולות לחופינו ונראה

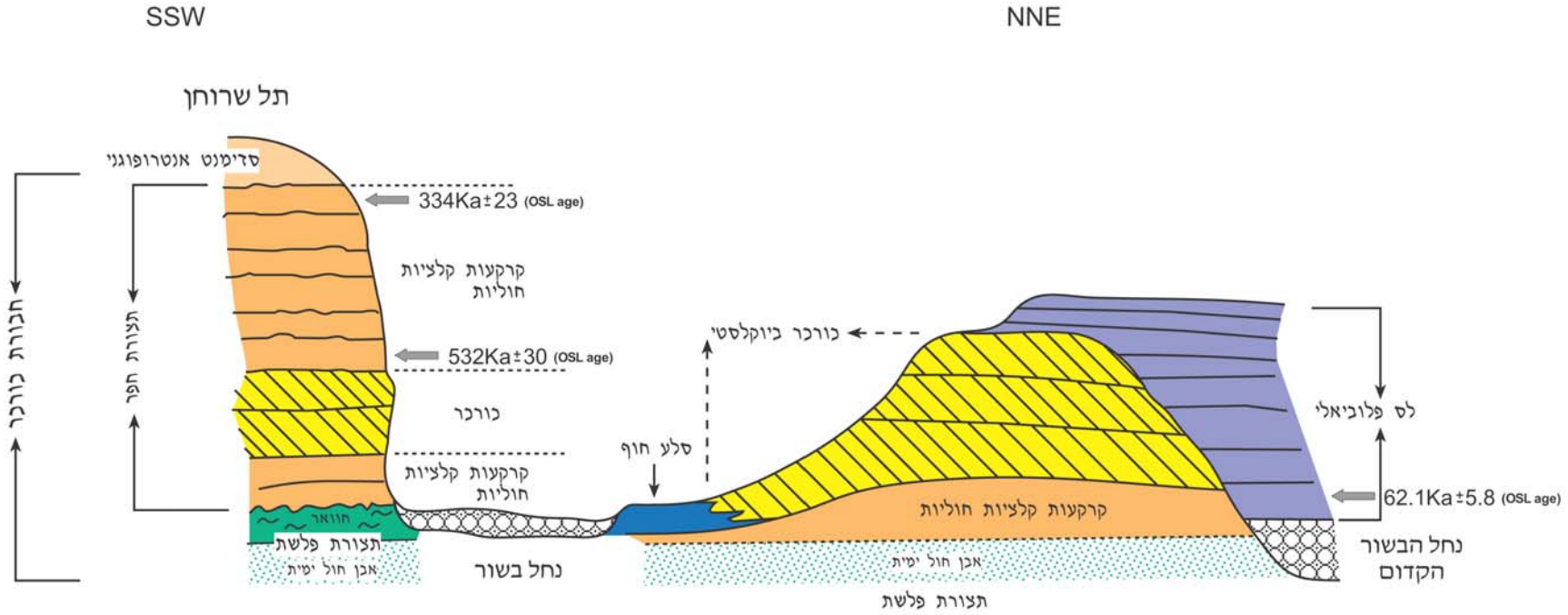
שתהליך זה החל רק בפליוקן המאוחר. הופעת הדיונות החופיות קשורה גם לשינוי האקלימי המציין את המעבר מהפליוקן התחתון בו שרר אקלים חם באזורנו, לפליוקן העליון, בו חלה התקררות ניכרת שבעקבותיה החלה להבנות כיפת הקרח של הקוטב הצפוני ופאונה ימית המאפיינת אקלים קר חדרה אל הים התיכון.

בתחילה היה קו החוף רחוק יחסית ובאזור תל שרוחן הצטבר לסירוגין חתך של קרקעות חוליות שהתפתחו בסובב בו הצטברו מרבדי חול אאולי שהוסע הרחק מקו החוף ואיבד בדרך את המרכיבים הביוקלסטים. לאחר מכן, חלה טרנסגרסיה שהביאה את קו החוף אל אזור תל שרוחן שלאורכו התפתחה רצועת דיונות חופיות עשירה במרכיבים ביוקלסטים שהפכה לרכס כורכר. כאשר נסוג החוף מערבה שבו והורבדו לסירוגין באזור מרבדי חול שיצרו את הרצף העליון של הקרקעות החוליות.

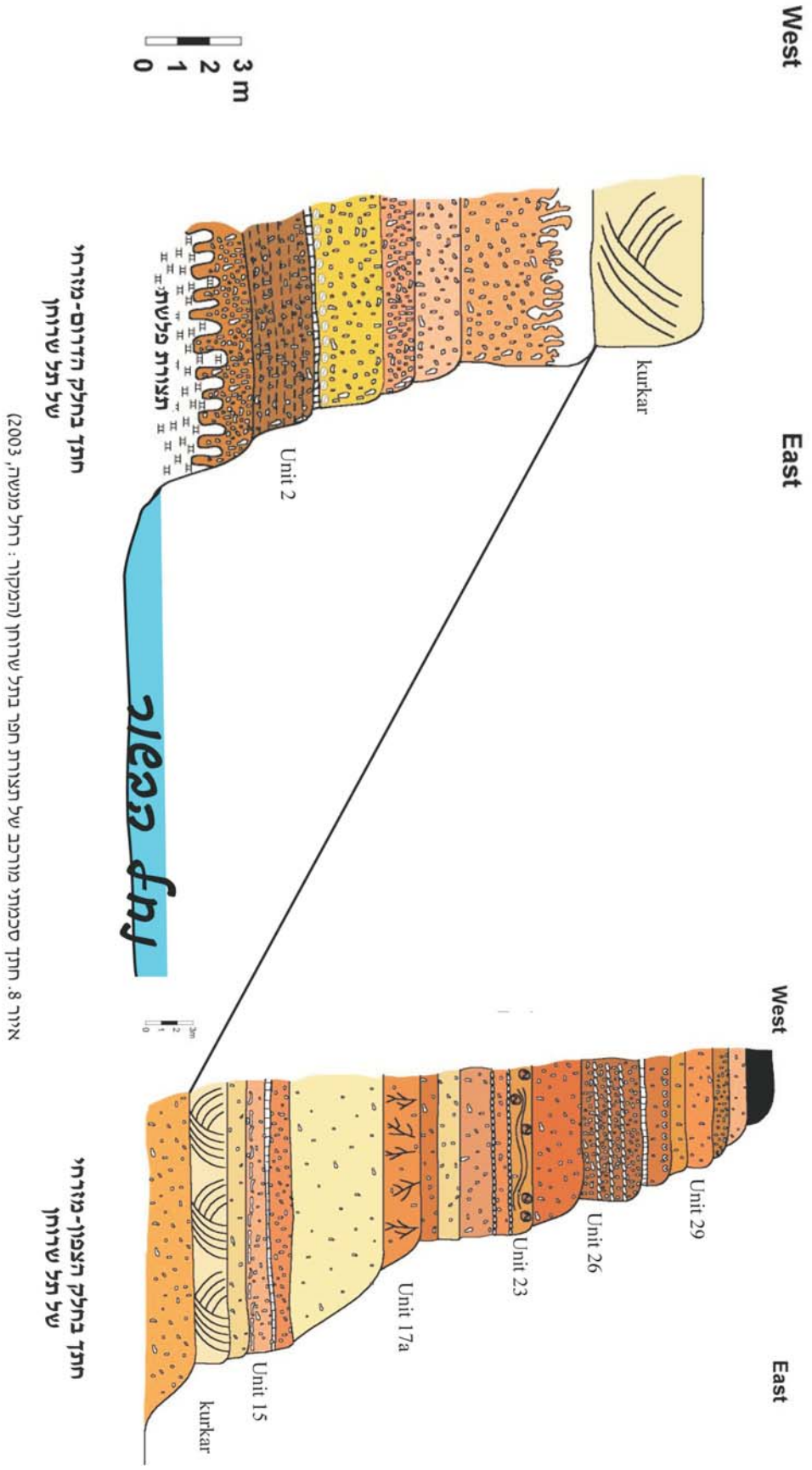
עדיין לא ברור אם העדר סדימנטים מגיל פלייסטוקן תחתון בחתך של תל שרוחן נובע מבעיות של תיארוך או שלפנינו פער סדימנטרי בעל משמעות נרחבת. נקודות הציון של התחנות על פי רשת ישראל הישנה. לאחר הרבדת החתך החולי החלה תקופת התחתרות לאורך נחל בשור שיצרה מערכת עמקים עמוקה מהנוכחית ברצף החולי של תצורת חפר. יחידות של חלוקים בעובי של עד 30 מ' נמצאו מתחת ליחידות הלס הפלוביאלי באזור רעים (Sneh, 1983; Shachnai, 1967). לא ברור מתי החל תהליך ההתחתרות, אך הוא מאוחר להרבדת יחידת החול העליונה בתל שרוחן ומוקדם לתחילת תקופת הקרח האחרונה בה הורבד הלס הפלוביאלי.

4.1 הלס הפלוביאלי

לכל אורך אפיק נחל בשור נשמרו טרסות המורכבות מחתכים עבים (עד 20 מ') של לס פלוביאלי משוכב שהורבד בפשטי הצפה נרחבים לאורך מסלול נחל בשור. הלס ממלא את העמק הקדום של נחל בשור שהתחתר ברצף הסדימנטים האאוליים של תצורת חפר במסלול שלא תמיד חפף את מסלולו הנוכחי של הנחל (איור 7). בעזרת אתרים פרהיסטוריים ותיארוך בשיטת לומיניסנסיה, נקבע גיל בסיס החתך לכ-60.000 שנה וגיל גגו לכ- 12-14.000 שנה.



איור 7. חתך כללי של אזור תל שרוחן (המקור: Zilberman & Amit, 1984 ; **ר. מנשה, 2003**)



תופעת הקבורה של נחלי הנגב על ידי סדימנטים דקי גרגר שמקורם בלס ובחול ממקור אאולי, מאפיינת את תקופת הקרח האחרונה (קרחון הוירם). בתקופה זאת התאפיין האקלים במספר רב של סופות אבק

שלוו באירועי גשם מתונים שלא יצרו זרימות שטפוניות. בנוסף לכך, הכמות הרבה של האבק שכיסתה את הנוף הסלעי של הר הנגב הקטינה את הנגר העילי וגרמה להיווצרות זרימות רוויות בסדימנט דק אל הנחלים. מאחר שהזרימות בנחלים היו רוויות בסדימנט, לא נשטף הסחף אל הים אלה הצטבר בהדרגה בעמקי הנחלים. תהליך זה הקטין את שיפועי הזרימה והגדיל את שטח קרקעית העמקים וגרם להחלשה נוספת של אנרגית הזרימות ולפיצול אפיק הנחל למספר רב של ערוצים קטנים שנדדו על פני פשטי ההצפה הרחבים שנוצרו. לקראת סוף תקופת הפלייסטוקן נוצר לאורך נחל בשור פשט הצפה ברוחב מספר קילומטרים שקבר תחתיו את התבליט הקודם. הביטוי המורפולוגי של פשט הצפה זה הוא המישור הנרחב המשתרע בין צאלים לאורים, בו מתחתר האפיק הנוכחי של נחל בשור.
לקראת סוף תקופת הפלייסטוקן חל שינוי באופי האקלים שהיה מלווה בהצחחה, ביצירת משטרי זרימה שטפוניים בנחלים ובהקטנת כמות סופות האבק. עקב כך, החלה התחתרות מהירה של הנחלים בפשטי ההצפה הנרחבים, תהליך שנמשך גם כיום.

2. תחנות הסיור (ראה איור 1)

תחנות 1-2 נמצאות לאורך כביש רביבים-צאלים. תחנה 1 סמוכה לכביש, אך תחנה 2 נמצאת כמה מאות מטרים מצפון לו, בתוך אזור המשמש כשטח אימונים שהכניסה אליו דורשת תאום מוקדם.
תחנות 3-6 פזורות לאורך "דרך נוף" המלווה את אפיק נחל בשור בין עין צאלים לתל שרוחן ועבירה לכל כלי רכב. מתחנה 7 נצא לסיור רגלי קצר עד פארק אשכול.

תחנה 1 : **מחשוף כביש בו ניתן לראות חתך של תצורת פלשת וקונגלומרט אחוזם המונחים על פני מפלס גידוע בגג חבורת עבדת (נ.צ 11250/06220)**.
מחשוף הנמצא לאורך כביש רביבים-צאלים בגובה של כ- 210 מ' (איור 6). בבסיס החתך חשוף מישור הגידוד הימי בגג חבורת עבדת ועליו סימני נבירות. מישור הגידוד מצופה בקרום לימוניטי המכיל שברי קירטון בתערובת עם חול ושברי מאובנים ימיים. הציפוי הלימוניטי מבטא סביבה ימית רדודה בה התרחש תהליך הגידוד. מעל מישור הגידוד מונח חתך של אבן חול ימית חסרת סטרוקטורות סדימנטריות המכילה עדויות לביוטורבציה (Unit 1). יחידה זאת גדועה על ידי מישור אי התאמה ארוזיבי עליו מונח קונגלומרט אחוזם. הקונגלומרט מכיל חלוקים ובולדרים מעוגלים, חלקם נגזר ממחשופי תצורת חצבה בהר הנגב. ניתן מצוא בו גם חלוקי חוף צורניים שמקורם מפאציאסים חופיים של תצורת פלשת במזרח. בחתך התפתח פרופיל קרקע והוא מצופה באופק קלקריט מפותח (דרגה VI), המעיד על תקופת חשיפה ארוכה לתהליכי בלייה ופדוגנזה. מראש הגבעה ניתן להשקיף על שרידי המפלס העליון של תצורת פלשת באזור נחל בשור.

תחנה 2 : תעלות בהן חשוף פאציאס חופי של תצורת פלשת. (אזור נ.ג 184 נ.צ. 11100/06485).

תעלות שנחפרו אל תוך החתך של תצורת פלשת בגובה של כ 190 - 180 מ', באזור בו נוחת המפלס העליון לצפון מערב (איור 6).

בחלק התחתון של תעלה שעומקה 4-3 מ' נחשף החתך החולי של Unit 1 ומעליו חתך המורכב מיחידות שהורבדו בסביבת החוף (איור 5). ניתן להבחין בחילופין של יחידות עשירות בחלוקי חוף צורניים קטנים מעוגלים וממוינים היטב, סלעי חוף, חוואר שהורבד כנראה בגוף מים רדוד מעבר לקו החוף. כמו כן מכיל החתך קונגלומרט עם בולדרים גיריים וצורניים שעברו תהליך שחיקה באזור המשברים ומייצגים ככל הנראה את אזור שפך נחל בשור הקדום אל הים. על חלק מהחלוקים הקרבונטיים נמצאו עקבות של בלייה שמקורה בפעילות של צמדת ים (אצות ורכיכות) שגדלו עליהם. הכמות הגדולה של הבולדרים המעוגלים בחתך מעידה שבנקודת זמן מסוימת בה הם הורבדו התקיים כאן השפך של נחל בשור אל החוף. החתך מלוכד בגגו על ידי אופק קלקריט עבה מדרגה VI, שהוא המפותח ביותר שנמצא באזור.

תחנה 3 : עין צאלים (עין שנק), הפאציאס העמוק של Unit 1.

זאת הנקודה המערבית ביותר בה חשוף מישור הגידוד עליו מונחת Unit 1 של תצורת פלשת (איורים 6 ,3). ניתן לראות כאן את הנבירות המאפיינות את מישור הגידוד ולהתרשם מאופיו המישורי. בסיס תצורת פלשת מורכב במחשוף זה מאבן חול ימית המכילה כמויות קטנות של חרסית ואופקים של חלוקים מעוגלים הצפים במטריקס חולי. החתך כולו חסר שיכוב ונראה שעבר הרבדה בסביבה לא יציבה והאופקים המכילים את החלוקים הם בעלי סטרוקטורה גלית המצביעה על הרבדה שלוותה בתהליכי גלישה תת ימיים. נראה שהחלוקים עברו תהליכי שחיקה באזור החוף לפני שהגיעו למקומם הנוכחי.

החתך הורבד כאן במים עמוקים יחסית, מתחת לבסיס הגלים וחלק ניכר מהסדימנט הגיע בתהליכי גלישה מאזור הדלתא של נחל בשור. מעל הפאציאס הרדוד מונח במגע חד סלע חוף עשיר בצדפות וחלוקי צור קטנים ומעוגלים. מגע זה מצביע על אי התאמה שנבעה מתהליך הרדדה שהיה מלווה ככל הנראה בגידוע חלקו העליון של החתך שהורבד מתחת לבסיס הגלים.

סלע החוף מהווה את הבסיס של היחידה השנייה של תצורת פלשת באזור זה שהורבדה בסביבה חופית וימית רדודה. מעל תצורת פלשת מונחים באי התאמה שרידים של יחידה המורכבת מסדימנטים סילטיים-חוליים אדמדמים המכילה קרקע קלצית מפותחת. נראה שיחידה זאת שייכת ככל הנראה לרצף הקרקעות החוליות מגיל פלייסטוקן תחתון-תיכון של תצורת חפר החשוף בתל שרוחן. חתך עבה של לס פלוביאלי מתקופת הפלייסטוקן המאוחר מכסה את כל האזור.

תחנה 4 : סדימנטים של הפאציאס החופי של תצורת פלשת באזור נחל בשור.

(אזור נ.צ 10325/07095)

בין תחנה 3 לתחנה 5 מתחתר נחל בשור בתוך רצף סדימנטים חוליים שהורבדו בסביבה חופית רדודה (איור 4). אבני חול המכילות עדשות ושכבות של חלוקים צורניים קטנים ומעוגלים במטריקס חולי-

ביוקלסטי, בונות את החתך. סטרטוקטורות סדימנטריות של שיכוב צולב מצביעים על הרבדה בתחום הנתון להשפעת הגלים וזרמי החוף.

תחנה 5 : היחידה העליונה של תצורת פלשת באזור נחל בשור. (נ.צ. 10250/07210)

מחשוף של היחידה העליונה של תצורת פלשת המורכבת מחוואר, אבני חול ימיות ואופקים עשירים בפאונה ימית (איור 4). השיכוב מצביע על סביבת השקעה בעלת אנרגיות הנמוכות, כנראה אסטואר או גוף מים בעל קשר חלקי לים הפתוח. מעל יחידה זאת מונח חתך של קרקעות חוליות השייכות לתצורת חפר ומהוות את הביטוי לחדירה המזרחית ביותר של חול דיונרי שמקורו בקו בחוף שהיה בסוף הפליוקן באזור תל שרוחן.

תחנה 6 : **תצפית על תל שרוחן וגג החתך של תצורת פלשת. (נ.צ 10125/07600)**

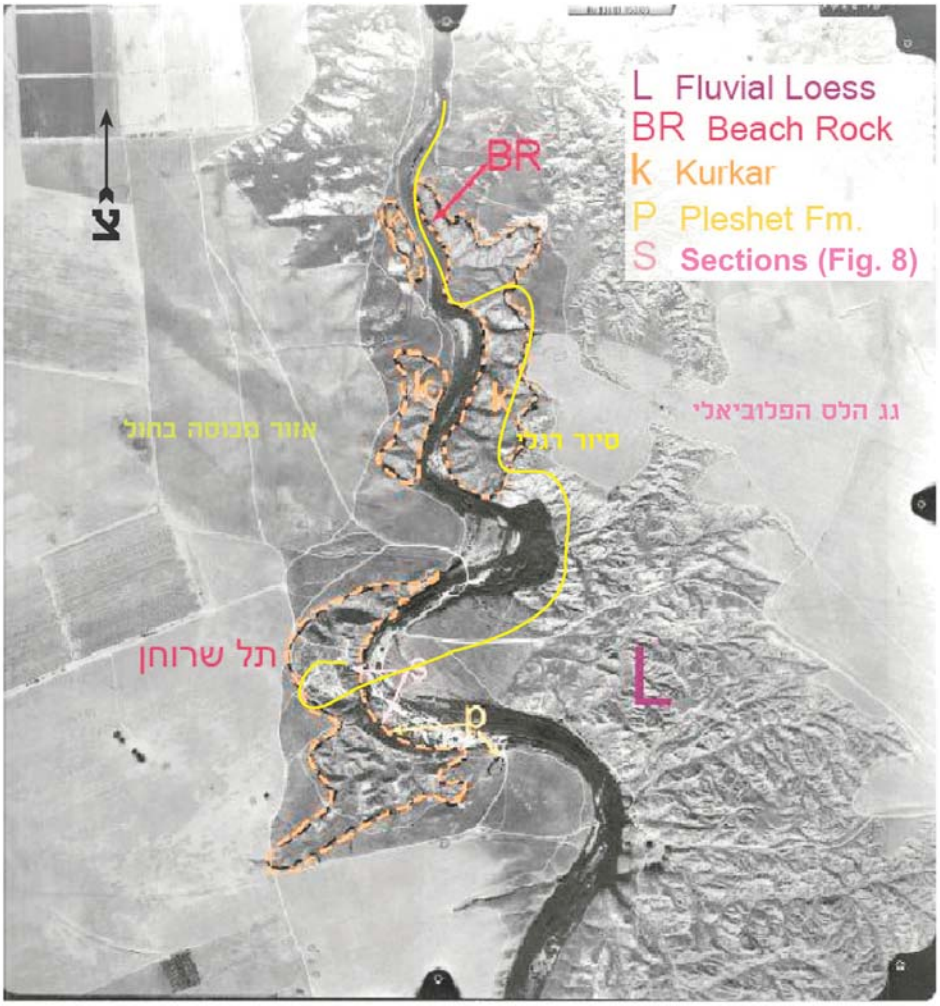
תצפית מעל אפיק נחל בשור במקום בו הוא מתחתר בחלק העליון של תצורת פלשת המורכבת כאן בעיקר מאבן חול ימית שבגגה פאלאוסול שהתפתח ביחידה סילטית-חוואריט. מנקודה זאת נצפה על תל שרוחן וסביבתו.

תחנה 7 : תצפית מתל שרוחן.

תצפית מראש תל שרוחן על אפיק נחל בשור (איור 9). מנקודה זאת ניתן לראות היטב את החתך העבה של הלס הפלוביאלי שמילא את עמק הבשור בתקופת הקרח האחרונה. גג המילוי יוצר מישור סדימנטרי נרחב המשתרע כ-4 קמ' מזרחה מהאפיק הנוכחי. מצפון לתל מתרומם רכס כורכר החצוי במרכזו על ידי אפיק נחל בשור. תוואי זה הנו צעיר ונוצר כאשר הנחל התחתר בסוף תקופת הפליסטוקן בחתך הלס הפלוביאלי שכסה את רכס הכורכר. התוואי הקדום עקף ככל הנראה את רכס הכורכר מצידו המזרחי מקום בו נראה חתך עבה של לס פלוביאלי, מונח באי התאמה על רכס הכורכר הגדוע (איור 7).

מסלול הליכה – מתל שרוחן לפארק אשכול (כ-2.5 קמ').

נרד מתל שרוחן תוך כדי סקירת החתך של תצורת חפר הבונה את התל (איור 9). נחצה את אפיק נחל בשור ונלך לאורך החתך של הלס הפלוביאלי הבונה את גדה המזרחית של הנחל. נעלה על רכס הכורכר ונלך לאורכו עד סמוך לקצהו הצפוני. נרד לאורך ערוץ קטן בו חשוף החתך של הכורכר ונצפה במבנה קלאסי של שיכוב צולב דיונרי. בבסיס רכס הכורכר נפגוש את קו החוף ממנו נגזר החול הביוקלסטי הבונה את רכס הכורכר. נלך צפונה לאורך מחשופי סלע חוף המכילים חלוקי חוף ושרידי מאובני צדפות. הסיור יסתיים בפארק אשכול.



איור 9. תצלום אויר של אזור תל שרוחן עליו מסומן מסלול הסיור הרגלי (המקור: רחל מנשה, 2003)

3. מקורות

זילברמן, ע., 1991. התפתחות הנוף בנגב המרכזי, הצפוני והצפון מערבי בנאוגן ובקוורטר. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/45/90.

מנשה רחל, 2003 . הסטרטיגרפיה והפאליאוגיאוגרפיה של החתך הפליו-פלייסטוקני בתל שרוחן, צפון-מערב הנגב. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

שכנאי עמנואל, 1967. הגיאולוגיה וההידרוגיאולוגיה של אזור נחל הבשור המערבי. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

Amit, R., Zilberman, E., Nahmihas, Y., 2000. Chronosequence of calcic soils in Nahal Besor area. Geological Survey of Israel Rep. GSI/21/2000. 79 pp.

Buchbinder, B., Zilberman, E., 1997. Sequence stratigraphy of Miocene-Pliocene carbonate-siliciclastic shelf deposits in the eastern Mediterranean margin (Israel): effects of eistaty and tectonics. Sedimentary Geology 112:7-32.

Goldbery, R., 1980. Use of grain-size frequency data to interpret the deposition environment of the Pliocene Pleshet Formation, Be'er Sheva, Israel. J. Sediment. Petrol. 50: 843-856.

Greenbaum, N & Ben-David Ram, 1998. Geological and Geomorphological mapping of the Shivta-Rogem Site area, Nahal Besor. Basic Data Report No.3. The Israel Electrical Corporation Ltd. Planning Development & Technology Division, Nuclear Engineering Department. 51 pp.

Gvirtzman, G., Buchbinder, B., 1969. Outcrops of Neogene Formations in the central and southern Coastal Plain, HaShfela and Be'er Sheva regions, Israel. Geological Survey of Israel Bull. 50, 73 pp.

Haq, B.U., Hardenbol, J., and Vail, P.R., 1988. Mezozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level changes. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross and J.C. Van Wagner (editors): Sea Level Changes: An Integrated Approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ., 42:71-108.

Picard, L., and Solomonica, P., 1936. On the geology of Gaza-Be'er Sheva district: The Geol. Dept. Heb. Univ., Jerusalem, Bull. 2.

Sneh, A., 1983. Redeposited loess from the Quaternary Besor Basin, Israel. Isr. J. earth Sci., 32:63-69

Zilberman, E., 1986. Pliocene-Early Pleistocene surfaces in the northwestern Negev – Paleogeography and tectonic implications. Geological Survey of Israel Rep. GSI/26/86, 52 pp.

Zilberman, E., Amit, R., Porat, N., 1994. Tel Sharuhen – a Quaternary type-section of the western Negev. Geological Survey of Israel, Curr. Res. 9: 81-86.

זרימת מי תהום והסעת מזהמים בקרטון הסדוק של רמת חובב

אילון אדר[1], ענת ברנשטיין[1], עופר דהן[1], נועם ויסברוד[1], יונתן לרון[1], רונית נתיב[2], דני קורצמן [2]

[1]אוניברסיטת בן גוריון בנגב, המכונים לחקר המדבר ע"ש בלאושטיין, מכון צוקרברג לחקר המים.

[2] האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות, מרכז סיגראם לקרקע ומים.

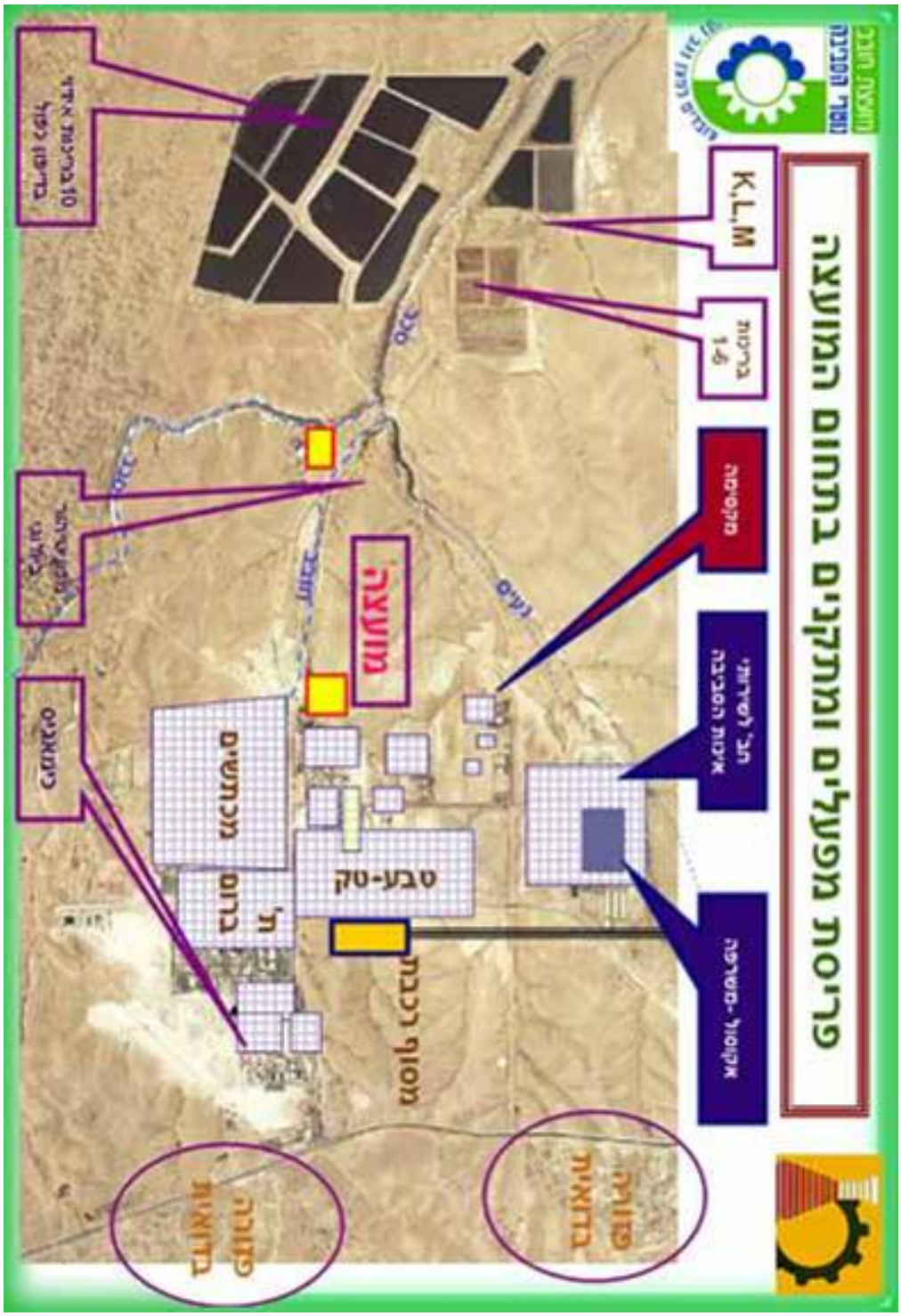
1. נושא הסיור

אופיו של הקרטון הסדוק של רמת חובב מכתיב את אופן וקצב תנועת המזהמים מפני השטח אל מי התהום. מתוך כך השפעתו מכרעת גם על תכנון הניטור של תנועת המזהמים בתת הקרקע, כמו גם על אסטרטגית השיקום של אתר התעשיות (שרטוט 1). במהלך הסיור (שרטוט 2) יבחנו תכונותיו העיקריות של הקרטון ומערכת הסדקים החוצה אותו (תחנות 1 עד 4), ויידונו ויוצגו (1) מערכת הקידוחים שנקדחו לניטור המזהמים במי התהום (תחנות 4, ו-5) ו-(2) פתרונות השיקום למי התהום המזוהמים (תחנות 5 ו-6). את הסיור יחתום ביקור באתר לניטור מזהמים במי שיטפונות (תחנה 7) ואתר לטיפול פסולת רעילה (תחנה 8).

2. רקע

2.1 הבעיה

בשנות השבעים הוחלט להעביר את התעשיות הכימיות מן העיר באר שבע אל אתר מרוחק יותר. רמת חובב, בה כבר הוקם האתר לפסולת רעילה, נבחרה על בסיס השיקולים הבאים: (1) ריחוק מן העיר ובמורד הרוח השלטת אך בקרבה מספקת אליה אשר תאפשר גישה נוחה לעובדים הגרים בבאר שבע, (2) אזור צחיח בו זמינות המים להסעת מזהמים נמוכה יחסית, ו-(3) תשתית של סלע קרטוני שמוליכותו ההידראולית הוערכה כנמוכה ביותר. לאור זאת, הונח כי הקרטון מהווה תשתית אטימה לתנועת מים ומזהמים מפני הקרקע. ביטויים להנחה זו היו הבריכות הראשונות לאגירת שפכי המפעלים אשר הוקמו ללא כל דיפון בקרקעיתן והיתרים להזרמת שפכים ("הזרם הנקי") באפיק נחל חובב. הנחה זו התבדתה כבר באמצע שנות השמונים, כאשר בשלושה קידוחי ניטור ראשונים שנקדחו באתר פסולת רעילה נמצאו ריכוזי מזהמים גבוהים במי התהום, בעומק של כ-20 מ' מתחת לפני השטח. לו היה הקרטון אטום (כפי שהניחו בטעות) לא היו צריכים להיות במי התהום מזהמים כלל.



שרטוט 1 : מרחב התעשיות ברמת חובב

שרטוט 2 : תחנות ביקור ותצפית במרחב רמת חובב

2.2 הסקר הראשוני

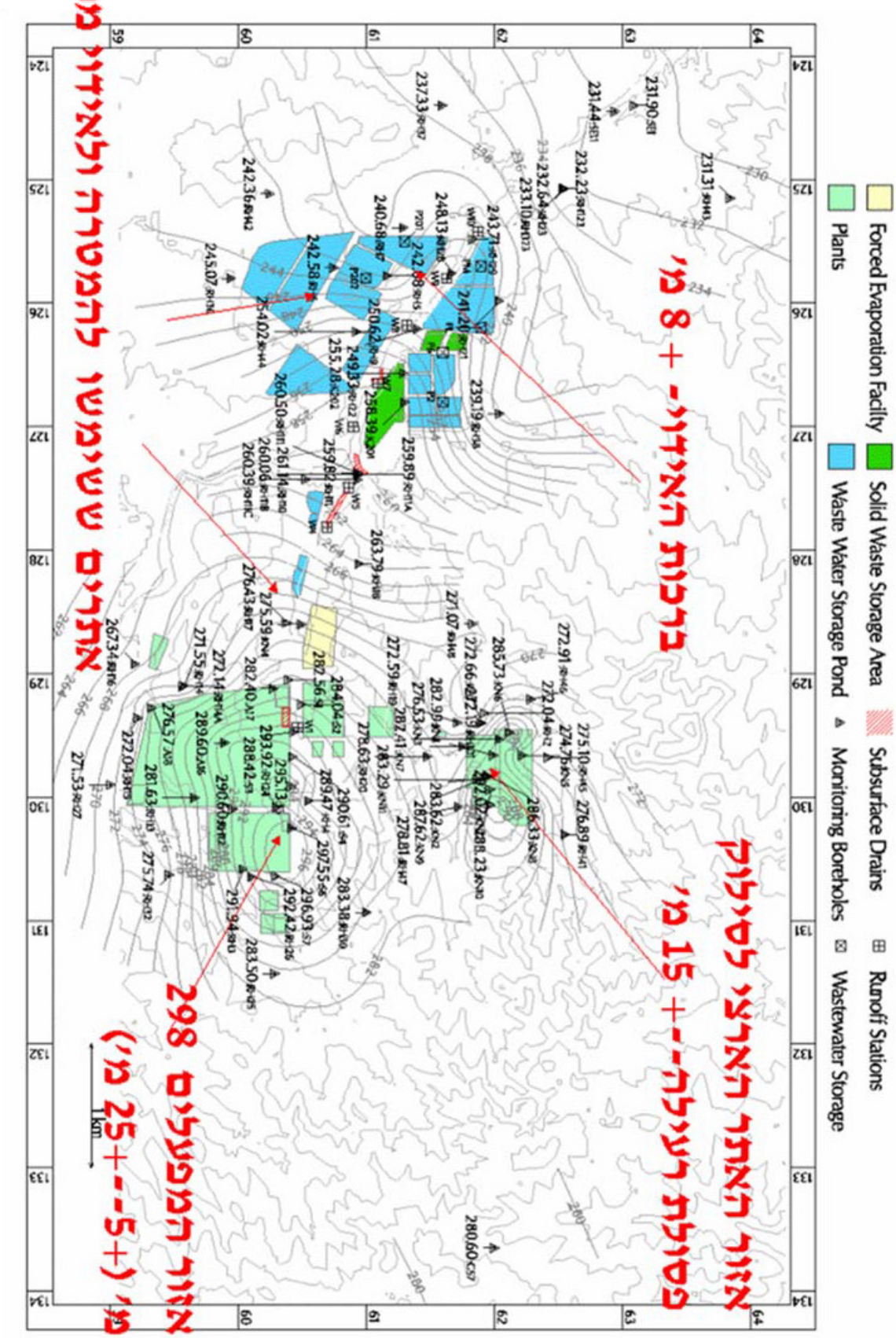
עשר שנים מאוחר יותר, ב-1995 התבקשנו ע"י המשרד לאיכות הסביבה (ובמימונו) להעריך את הקף הזיהום במי התהום בשטח המועצה התעשייתית רמת חובב. מערך השיקולים שלנו בתכנון העבודה התבסס על ממצאים של חקירות גיאולוגיות בנגב הצפוני אשר זיהו מערכות סדוק אזוריות החוצות את הקרטון (Bahat, 1987a,b). מחקרים הידרולוגיים שבצענו החל מראשית שנות ה-90 הראו כי למערכות אלה חשיבות מרכזית לגבי חלחול של מים ומומסים מפני השטח אל מי התהום ותנועתם בתווך הרווי (Nativ and Nissim, 1992; Nativ et al., 1995). בעוד שהקרטון הלא סדוק מוליך מים באיטיות רבה ביותר (0.01-0.05 מ'/שנה), זרימת המים בסדקים החוצים אותו מהירה בשלושה סדרי גודל ואף יותר (1.5-2 מ'/שנה). לאור הממצאים הנ"ל נראה כי מערכות סידוק גדולות אלה מהוות את המובלים הראשיים של מים ומזהמים במרחב רמת חובב. לפיכך, הגדרת הקף הזיהום הקיים ברמת חובב חייבה תכנון מערכת ניטור המתחשבת בהשפעתם של הסדקים על כיווני הנדידה של המזהמים וקצב תנועתם (Nativ et al., 1999).

כאשר החילונו את העבודה ברמת חובב היו באזור 16 קידוחי ניטור. במהלך שלוש שנות הסקר גדל מספרם ליותר מ-50. הקידוחים נקדחו ברובם באלכסון על מנת לחצות מספר רב ככל האפשר של סדקים (שהם ברובם אנכיים) מתחת למפלס מי התהום. מדידות מפלס בקידוחים ודגימת מימיהם העלו את הממצאים הבאים:

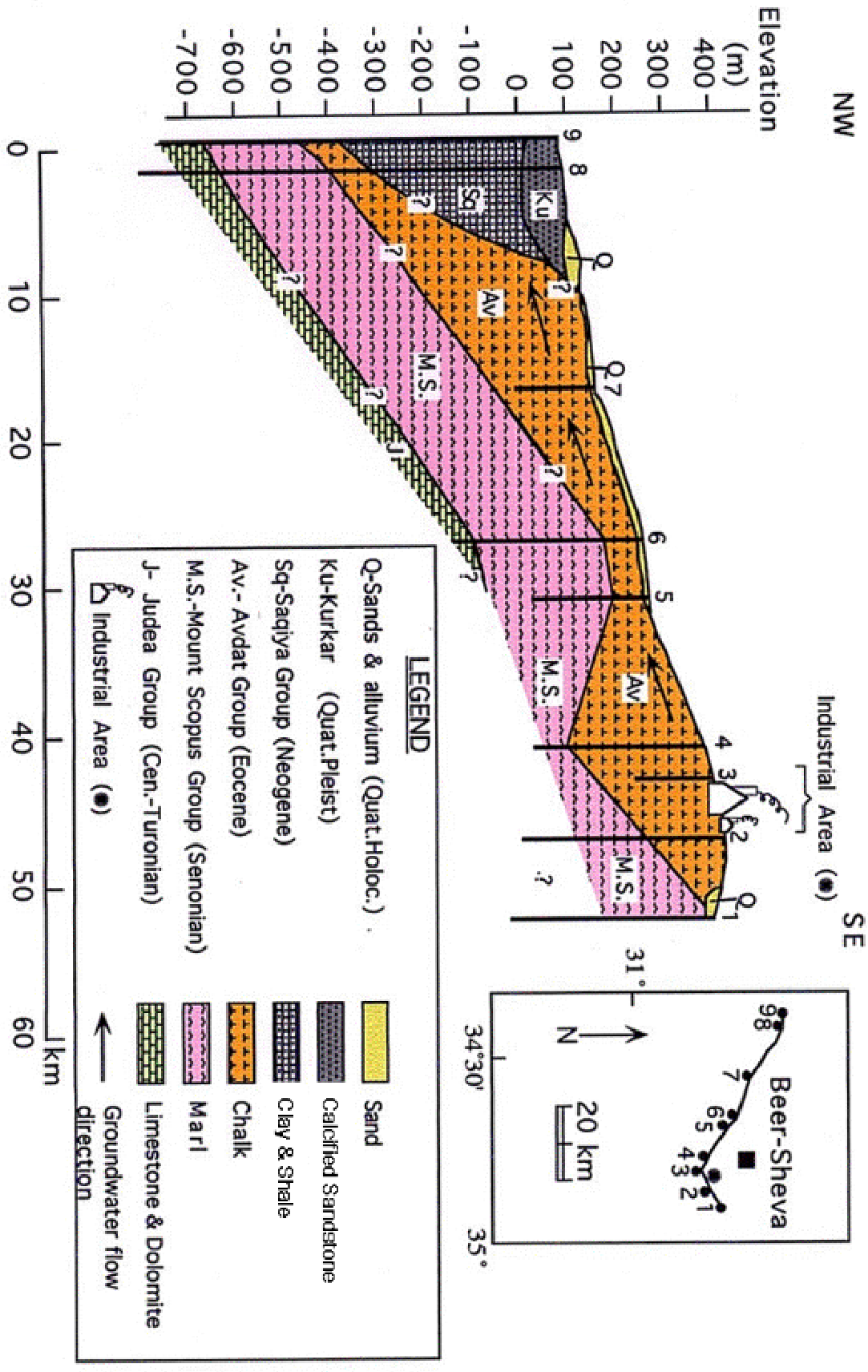
הסתבר שכתוצאה מדליפות ממתקנים תעשייתיים שונים במרחב רמת חובב, עלו מפלסי מי התהום (בכ-15 מ') והגיעו עד לפני השטח, במיוחד במרכז אתר התעשיות לאורך הדרך המובילה למפעלים ולאורך הנחלים חובב וסכר (שרטוט 2). מפלסי המים הגבוהים מהווים סכנה ליסודות וליציבות המתקנים. הערמות המים במפלסים גבוהים מעודדת את פיזור המזהמים שבמי התהום לאורך מסלולי זרימה חדשים. יש ומפלסי המים הגבוהים נושקים לפני השטח לאורך האפיקים של הנחלים חובב וסכר ויוצרים נביעות של מי תהום מזוהמים. כתוצאה מאידוי מתמשך מצטברים מלחים קלי תמס של מזהמים שונים לאורך ערש הנחל. אלו מוסעים במורד הזרימה עם מי השטפונות.

זיהום מי תהום אובחן במספר מוקדים ברחבי המועצה התעשייתית (שרטוט 3). אלו כוללים את אזור המפעלים, האתר הארצי לפסולת רעילה, אזור האידוי המאולץ (לשעבר) ואזור בריכות האידוי הישנות. כן אובחן זיהום מי תהום ממערב לרמת חובב לאורך 8 ק"מ בנחל סכר. לא נצפה זיהום מי תהום בחגורת קידוחים הסובבת את האתר ממערב וממזרח ובעומקים העולים על 50 מ'.

אנו מניחים כי מי התהום באקוויפר ההר בעומק של 700 מ' לא הזדהמו כתוצאה מהפעילות ברמת חובב. הנחה זו נשענת על עוביו של הקרטון (300 מ'), הפחתת הזיהום שנצפתה בקרטון כלפי העומק (שיש לה סיבות פיסיקליות וגיאוכימיות), וחציצה בין הקרטון לבין אקוויפר ההר בעובי 400 מ' של חורים ופצלים (שרטוט 4). לעומת זאת, לאור הגרדיינט ההידראולי האזורי והעובדה שסלעי הקרטון מתנקזים אופקית לעבר אקויפר החוף הדרומי, יש סיכוי סביר שאם הזיהום יחרוג מערבה מגבולות רמת חובב, החולות ואבני החול הבונים את אקוויפר החוף במערב עלולים להיות מושפעים מזיהום הקרטון. בנוסף, נגר מזוהם



שרטוט 3 : פרוס מפלסים - מוקדים של הערמות מי התהום.



שרטוט 4 : חתך הידרוגאולוגי מאזור רמת חובב ועד למשור החוף

שזרם מן האתר במשך שנים ארוכות בנחל סכר זיהם את האקוויפר האלוביאלי הדק שבערשי הנחלים סכר ובאר שבע.

2.3 מערך הניטור כיום

עם תום הסקר הראשוני ב-1998 התבקשנו ע"י המשרד לאיכות הסביבה להמשיך את המעקב אחרי המפלסים והמזהמים במי התהום. המימון לניטור זה מגיע מהמועצה התעשייתית רמת חובב, ותוצאותיו מדווחות מדי שנה לוועדת היגוי בה יושבים נציגי המועצה התעשייתית רמת חובב, ונציגי המשרדים של איכות הסביבה, הבריאות ונציבות המים. כחלק מהמשך הניטור ברמת חובב גדל עם השנים מספרם של קידוחי הניטור ל-100. למרות שרוב הקידוחים נקדחו על מנת להעריך את הקף זיהום מי התהום באזור רמת חובב ולא למטרות ניטור ארוכות טווח, כולם כלולים כיום במסגרת הניטור המתמשך.

מטרות התכנית המתמשכת הן:

א. אומדן מתמשך של ההרכב, ההיקף המרחבי ועוצמת זהום המים הטבעיים הנובעת מהפעילויות בתחום המועצה האזורית, לאור הנזק האפשרי של זהום זה;

ב. ניטור ההשפעה של פעולות להפסקת\הפחתת הקף הזיהום;

ג. יצירה של בסיס ידע דינמי המוכוון לייעול הדרך להשגת המטרות א' וב'.

בהקשרים אלה אמורה מערכת הניטור לספק תשובות לשאלות הבאות:

* האם הערמות מי התהום באזור המפעלים (שיצרה במקומות תווך לא רווי הקטן מ-1 מ') מגיבה לפעילויות השונות (תיקון צנרת דולפת, פתיחת נקזים, שאיבות בקידוחים) שנועדו להוריד את המפלסים?
* האם ממשיכה דליפת מים או שפכים ברחבי האתר המתבטאת בעליית מפלסים?
* מי ממקורות הזיהום הפוטנציאליים עדין פעיל ודולף ומהי תרומתו למי התהום המקומיים?
* האם ניתן לזהות את מקור המזהמים שבדוגמאות המים ובכך לסייע לשיתוקו?
* האם ישנם אתרים חדשים של מים מזוהמים?
* האם ריכוזי המזהמים במי התהום באתרים מזוהמים עולים/יורדים כתוצאה מפעולות שונות להפחתת זיהום או דליפות חדשות?

2.4 אסטרטגיה השיקום של מי תהום באתר

המערכת המקובלת לשיקום אתרים מזוהמים באקוויפרים, המבוססת על שאיבת המים המזוהמים וטיפול בהם (וקרויה בעגה המקצועית Pump and Treat), לא תצלח ברמת חובב. למרות תנועתם המהירה של מי התהום והמזהמים בתוך מערכת הסדקים, נפחי המים הזורמים בהם קטנים. כתוצאה מכך לא ניתן יהיה להפיק כמויות מים משמעותיות דרך הקידוחים, ונפחי המים הקטנים שישאבו באופן זה לא יצדיקו את ההשקעות הגדולות במערכת הטיפול.

אפשרות אחרת שנשקלה היא עצירת התנועה של מי התהום המזוהמים אל מחוץ לאתר ע"י הקמת מחסום פיזי בתת הקרקע, או לחילופין מחסום הידראולי המבוסס על שאיבת מי התהום ברשת של קידוחים

היקפיים מסביב לאתר התעשיות וסחרור המים למערכת טיפול. להערכתנו יש קושי בישום שיטה זו מכמה טעמים: מחסום פיזי יקר מאד, עומקו מוגבל (ובכך מוגבלת תפיסת המים המזוהמים לאופקים רדודים יחסית), ומיקומו במערב אתר התעשיות איננו מבטיח תפיסה מלאה של זרימת מי התהום מרמת חובב. היערמויות של מי תהום במספר אתרים (כמו באזור המפעלים) מכתיבות כיווני זרימה לצפון, מזרח ודרום שאינם דווקא בכיוון מפל העומד המכסימלי למערב. על מנת להבטיח את יעילותו של המחסום הפיזי ולמנוע הצפות של פני השטח במי תהום מזוהמים חסרי מוצא יש לנקז את מי התהום במעלה המחסום ולמנוע את המשך הדליפות למי התהום באופן כמעט מוחלט. דרישה זו איננה פשוטה בשים לב לנפחי המים המסוחררים באתר התעשיות (למעלה מ-7000 מ^3 ביממה).

מחסום הידראולי הפועל באמצעות רשת קידוחים שואבים יעמוד בפני אותן הבעיות שהוזכרו בנוגע לשיטת השיקום Pump and Treat שהוזכרה למעלה, ולפיכך יתכנותו מוטלת בספק. בנוסף, אין בטחון שגם רשת קידוחים צפופה מאד (מרווחים של עשרות מטרים בין הקידוחים) תצליח ליצור מחסום הידראולי ולהטות את כל מי התהום הזורמים בסדקים אל אזורי ההזנה של הקידוחים. במערכת סדוקה אזור ההזנה סביב כל קידוח שואב מצומצם ביותר (מטרים בודדים) ומשתרע רק לאורך הסדקים אותם חצה הקידוח.

אפשרות אחרת שנבחנה (וגם יושמה) היא ניקוז מי התהום המזוהמים לנקזים וטיפול בהם לאחר שאיבתם מן הנקזים. אפשרות זו סבירה במיוחד במקומות בהם מי התהום המזוהמים גבוהים וקרובים לפני השטח כמו באזור המפעלים ובמורד הבריכות, וניתן לבצעה בקלות בערוצי הנחלים (מורד נחל חובב וקטע מנחל סכר שבין בריכות האגירה) המנקזים את מי התהום הגבוהים באופן טבעי. הקושי בשיטה זו נעוץ בכך שעומק האזורים המתנקזים אל הנקזים רדוד יחסית, אולם יש לזכור כי נמצא שעיקר הזיהום של מי התהום זוהה בקידוחים רדודים יחסית.

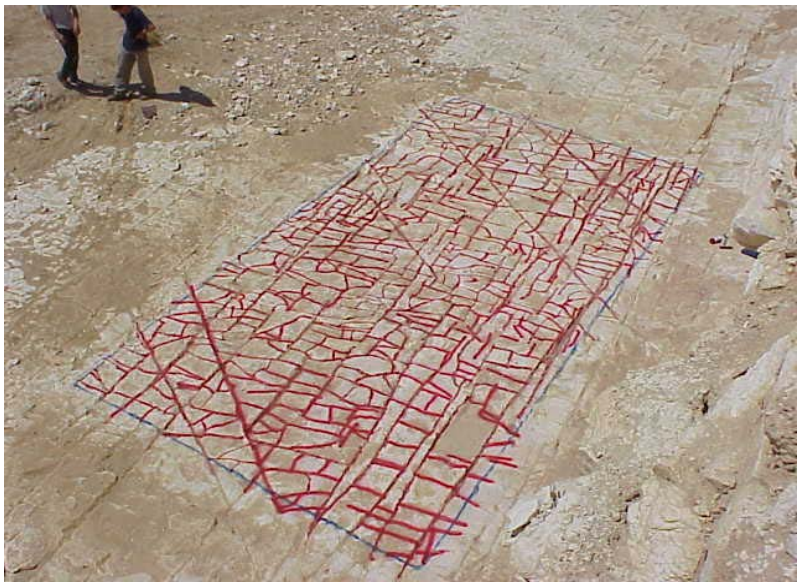
לאור המגבלות של השיטות האחרות שהוזכרו למעלה, הוחלט לפעול לניקוז האופק העליון של הקרטון כדי לתת תשובה מיידית סבירה לחלק מן הבעיה של מי תהום מזוהמים ברמת חובב. לאור המלצתנו נחפרו שלושה נקזים נסיוניים על מערכות הסידוק הראשיות באזור משרדי המועצה, במורד נחל חובב ועל נחל סכר, בין בריכות השפכים.

3. תחנות הסיור

תחנה מספר 1 : נחל נעים

מחשופי הקרטון בנחל מאפשרים תצפית תלת ממדית של המטריקס הקרטוני ומערכות הסידוק הראשיות החוצות אותו (שרוט 5). לקרטון האיאוקני של רמת חובב מתאים המודל של נקבוביות כפולה. על פי מודל זה, לבלוקים של הסלע הלא שבור נקבובים זעירים (התופסים 45%-18% מנפחו), המספקים את האוגר העיקרי למומסים ומזהמים, בעוד הסדקים המפרידים בין הבלוקים מהווים נקבובים גדולים ורציפים ומספקים את נתיבי זרימה. שלוש מערכות הסידוק העיקריות באזור העבודה כוללות שתים אנכיות עד תת-אנכיות במקביל לאזימות 60^0 ו-150^0 ואחת תת אופקית (שרטוט 6). מערכות אלו חותכות

אחת את השנייה ובנקודות אלו מפתח הסדקים גדול יותר, בעיקר בגלל פעילות המסה המתמקדת באתרים אלה.



שרטוט 5 : *דגם של מערך הסידוק בנחל נעים*

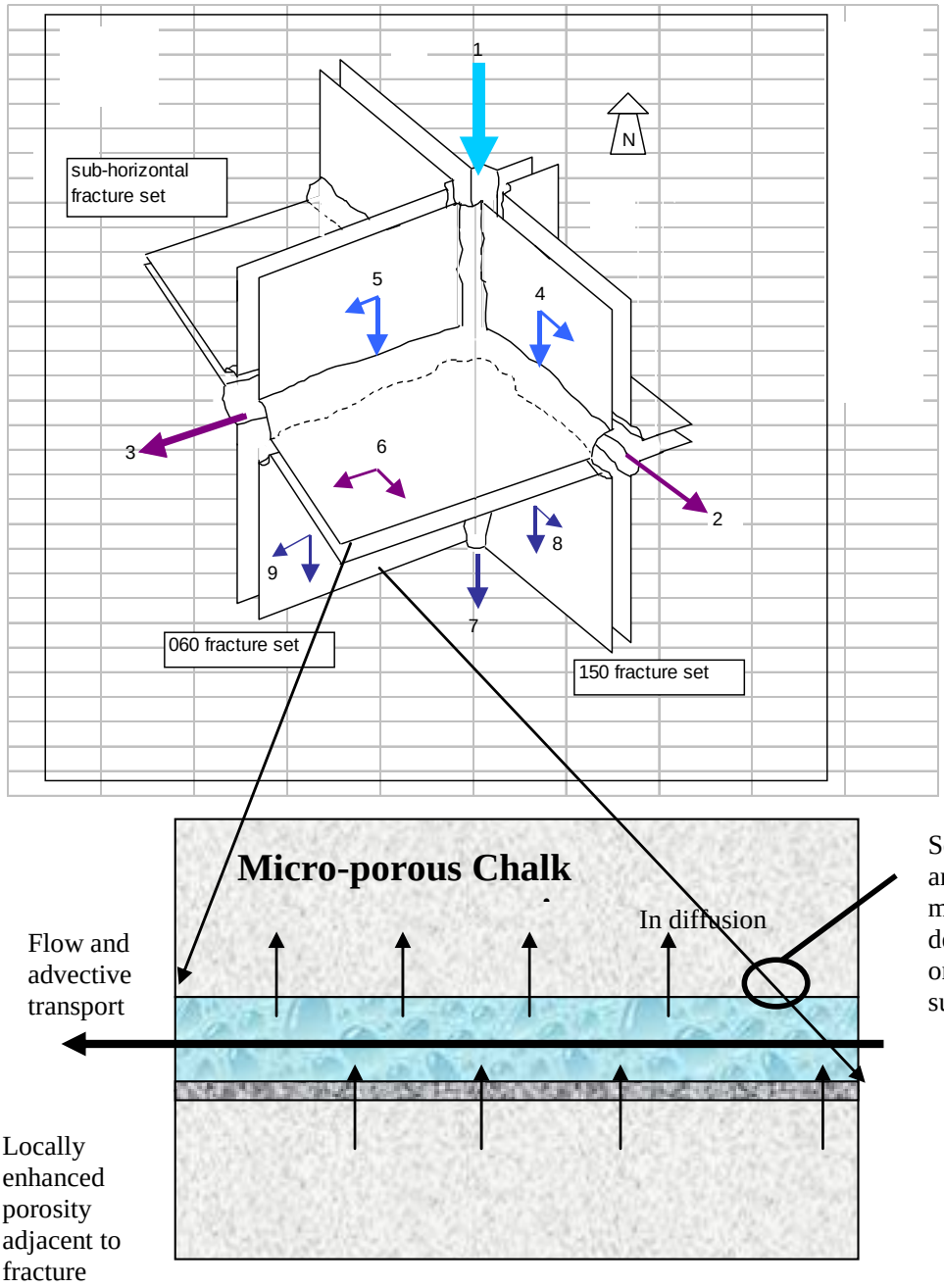
צפיפות הסדקים פוחתת עם העומק וכיווניותם עשויה להשתנות מעט עם כיוון השעון, לאזימות 180^0 ו- 90^0.

בגלל זעירותם של הנקבובים במטריקס הקרטוני, (0.009-0.3 מיקרון עם ממוצע של 0.15 מיקרון), ההתנקזות שלהם לסדקים בעקבות שאיבה וירידת עומד צפויה להיות מוגבלת ואיטית ביותר בגלל מתח קפילרי גבוה.

תנועת מזהמים בתווך הלא רווי תושפע מן הספיגה והדיפוזיה למטריקס וחילופין בין הנוזלים הנעים בסדקים לאלו המאוכסנים במטריקס. בתווך הרווי עיקר התנועה של מים ומזהמים היא במערכת הסדקים ובמיוחד באזורי החיתוך של מערכות הסדוק, שם מפתח הסדקים גדול במיוחד עקב המסה.

הבדיקות העלו שבסמיכות למישור הסדק נצפתה נקבוביות גבוהה יותר המאפשרת חדירה של מומסים ומזהמים אל תוך המטריקס הקרטוני שמאחורי הסדק. על רוב משטחי הסדקים יש מעט תחמוצות ברזל וציפוי חרסיתי. את הסדק ממלאים מינרלים משניים הכוללים גבישי קלציט, גבס, סיליקה אמורפית, חרסיות סמקטיטיות, גיבסיט, סלסטיט ותחמוצות ברזל. כן נצפו במקרים בודדים גבישי בריט, פיריט ואפטיט.

באתר נצפו קרטונים משני סוגים. העליון, לבן, חסר כמעט חומר אורגני ומכיל, פרט לקלציט, פרקציה גדולה יחסית של מינרלים אחרים (זיאוליטים, סיליקה וחרסיות). מתחת לו בעומק של כ-30 מ' ומטה, קרטון אפור יותר עם כ -1% חומר אורגני ושיעור המינרלים האחרים קטן יותר. החומר האורגני נבדק בשיטת Rock Eval, ב-GCMS ובמיקרוסקופ וזוהה כקרוגן מסוג II ממקור מריני ומקורו בשרידי אצות, זרעים, אבקנים וקוטיקולה. לאור הפער בשעור החומר הרזידואלי בין הקרטון הלבן לאפור מוצע כי הקרטון הלבן לא התפתח מן הקרטון האפור ע"י שטיפתו במי תהום (כפי שהוצע בעבר), אלא שקע בתנאים שונים, מחמצנים יותר אשר פרקו את החומר האורגני.



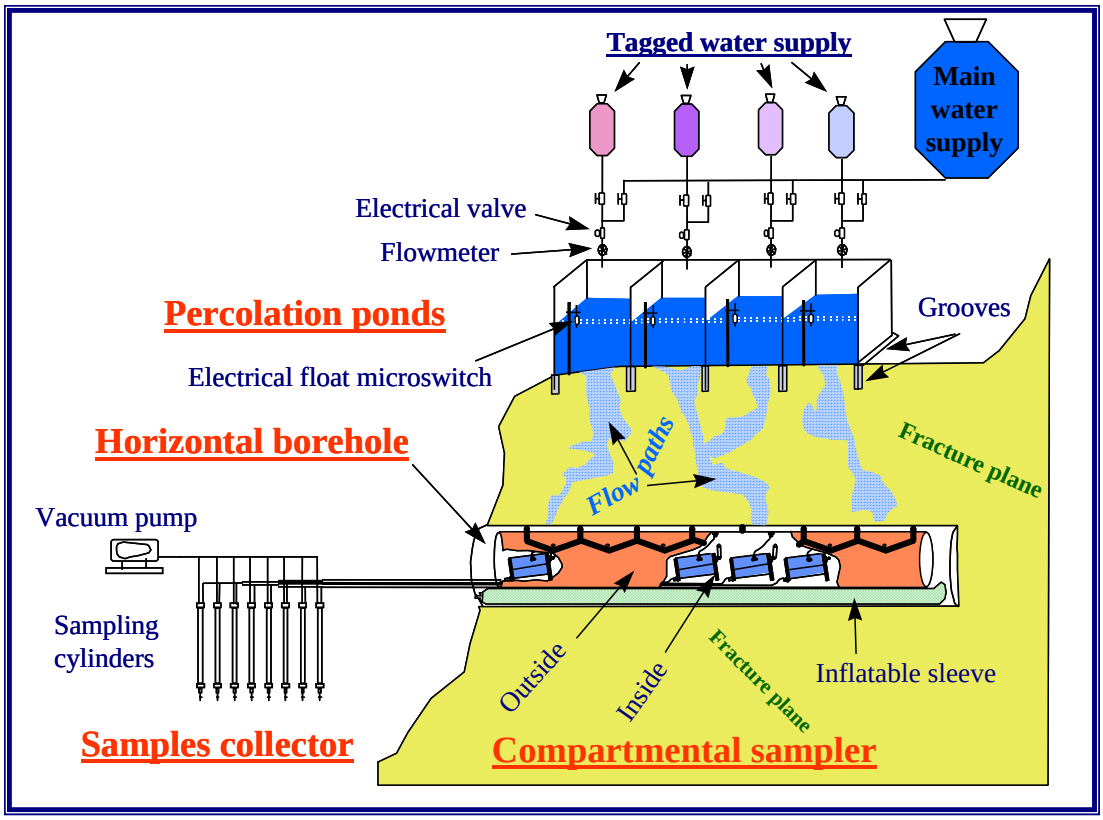
שרטוט 6 : *סכמה של שלוש מערכות הסידוק העיקריות ברמת חובב.*

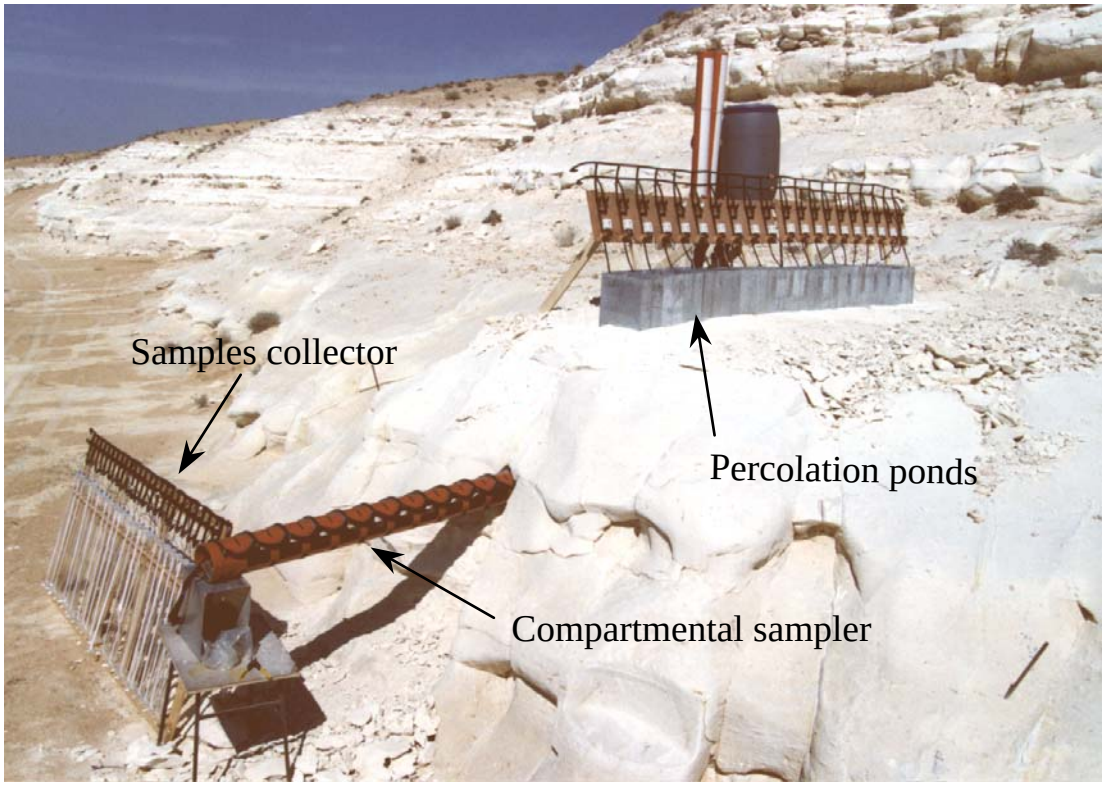
תחנה מספר 2 : מעלה נחל סכר

התחנה נמצאת מדרום למתקן הטיפול בשפכים של המועצה התעשייתית. באתר זה נערכו ניסויי שדה לבדיקת הזרימה בסדק בודד החוצה את המטריקס הקרטוני.

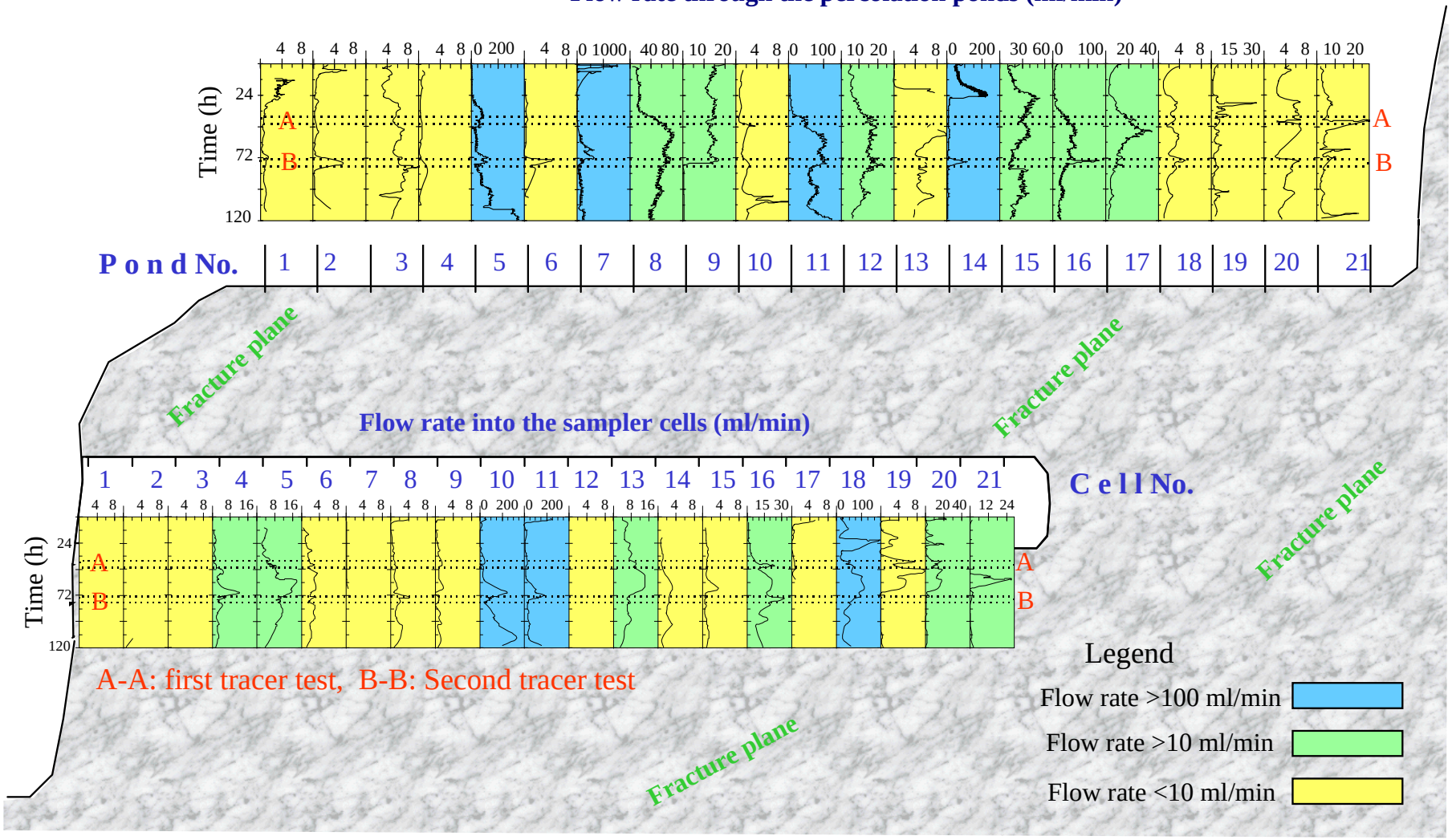
זרימת מים והסעת מומסים דרך סדקים החוצים קירטון בתווך הלא רווי נחקרה באמצעות מערך ניסויי שדה שתוכננו ונבנו במיוחד עבור מחקר זה. מערך הניסויים כולל ארבע מרכיבים עיקרים: (א) קידוחי גלעין אופקיים שנקדחו לאורכו של סדק אנכי החושף את הסדק הנחקר לכל אורך תקרתו, (ב) סידרה של בריכות חלחול המותקנות ברצף לאורכו של הסדק החשוף על פני דרגש סלע מעל לקידוח. לכל אחת מבריכת חלחול מקור הספקת מים נפרד המאפשר סימון שונה למים המחלחלים מתחומה, וכן מערכת אלקטרונית אוטומטית לשמירת עומד המים ורישום ספיקות החלחול, (ג) דוגם רב תאי המוצב בתוך הקידוח האופקי מתחת לבריכות החלחול ומחלק את פתחו התחתון של הסדק בתקרת הקדח למקטעים באורך 20 ס"מ כל אחד. תשטיפי המים המתנקזים מפתחו התחתון של הסדק נאספים בנפרד מכל קטע ע"י תאי הדוגם, ו-(ד) תשטיפי המים הנקלטים בכל אחד מתאי הדוגם נדגמים בנפרד ע"י מערכת איסוף חיצונית (שרטוט 7)

בשלושה ניסויי חלחול דרך סדקים בשני אתרים שונים, שארכו שלושה חודשים באתר האחד ו5- שעות וחמישה ימים באתר השני, נמצאו שינויי ספיקה קיצוניים בזמן ובמרחב. הספיקות דרך פתחי הסדק לא הגיעו לכלל התייצבות, לא בתחום קטעי סדק קטנים של בריכת חלחול או תא דוגם בודדים ולא על פני תחום הסדק הנחקר כולו, למרות שתנאי עומד המים על גבולות המערכת (פתחי הסדק) נשמרו קבועים (שרטוט 8). נתיבי הזרימה בתוך מישור הסדק השתנו בזמן, אולם עם זאת רוב הזרימה תועלה לחלק קטן ממישור הסדק. יותר מ70%- משטף המים זרמו דרך פחות מ20%- מאורך פתחי הסדק.





שרטוט 7 : שרטוט סכמאתי (למעלה) וצילום (למטה) של מערכך הניסוי באתר בו בוצעו הניסויים למדידה של זרימת מים והסעת מומסים בסדקים בתווך הלא רווי בנחל סכר.

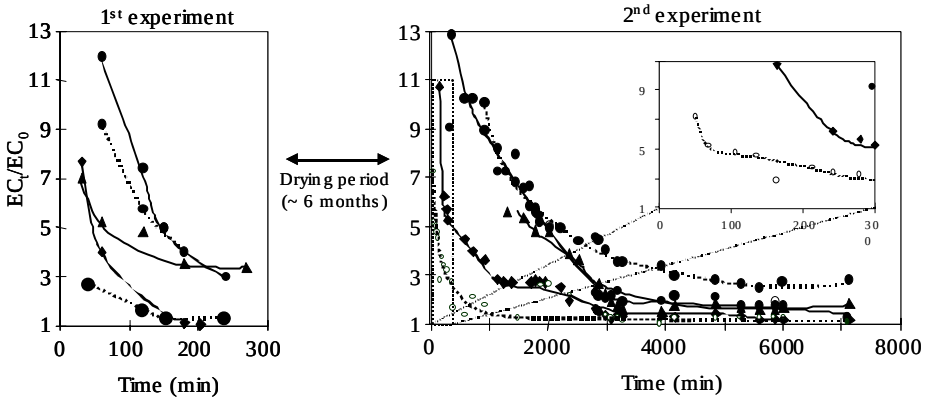


שרטוט 8 : ***תוצאות ניסוי החלחול בסדק בתוך הלא רווי של הקירטון במחשוף בנחל נעים. השרטוט מציג את שינויי ספיקה בזמן בכל בריכות החלחול המוצבות על פתחו העליון של הסדק (למעלה), ומכל תאי הדיגום המוצבים בפתחו התחתון של הסדק בתוך הקידוח האופקי (למטה).***

עיקר זרימת המים מוקדה לתעלות המסה, ואלה נמצאו בדרך כלל בסמיכות לאזורי מפגש סדקים. נראה כי זרימת המים דרך הסדק נשלטה בראש וראשונה ע"י ההרכב המינרולוגי של חומרי המילוי והמבנה הפנימי של חלל הסדק. המסת מלחים, הסעת חלקיקים ותפיחת חרסיות היו הגורם הקובע את תהליכי הזרימה. נראה כי שינויים פיזיים במבנה חומרי המילוי המצויים בתוך תעלת ההמסה אחראיים לחוסר היציבות שנצפה במשטר הזרימה לאורך כל תקופות הניסויים.

מתוצאות המחקר עולה כי לצורך מודלים המיועדים לחיזוי חלחול דרך סדקים בתווך לא רווי יש למפות גם נקודות מפגש בין סדקים החוצים זה את זה, בנוסף למיפוי הסדקים המקובל כיום. יתרה מזאת, נראה כי הגדרה מדויקת של מפתחי הסדקים כפרמטר עיקרי לחיזוי תהליכי הזרימה בתווך לא רווי אינה יעילה, מאחר והזרימה דרכם נשלטת ע"י השינויים הפיזיים המתרחשים בחומרי המילוי במהלך מחזורי יבוש והרטבה.

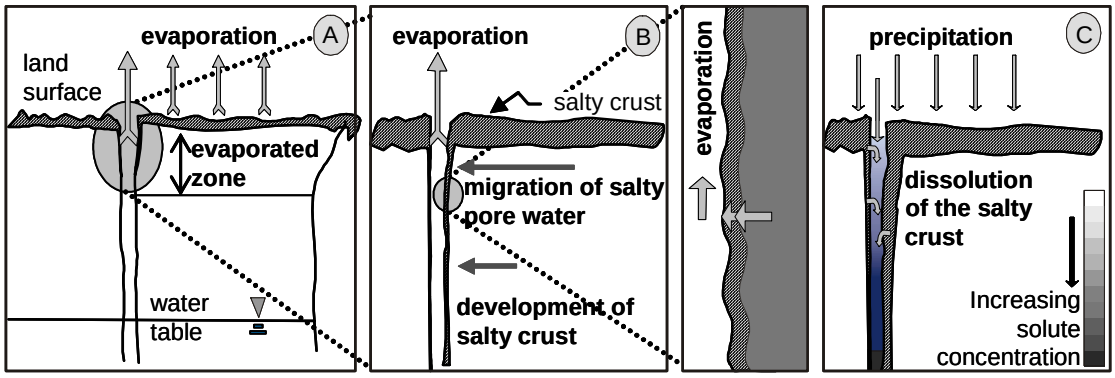
שני ניסויי שטיפה עוקבים דרך הסדק הבודד בוצעו בהפרש של כחצי שנה. בתחילת הניסוי הראשון נצפו ערכים גבוהים של מלח. ערכים אלו ירדו עד לריכוז מלחים הקרוב לריכוזים התחיליים במי הבריכות לאחר מספר שעות. הריכוז ההתחלתי של המלחים בתשטיף היה שונה בין אזורי הזרימה השונים בתוך הסדק והגיע לעד פי 13 מהריכוז ההתחלתי. בסיום הניסוי הראשון הגיעו ריכוזי המלחים בכל הדוגמים לעד למקסימום של פי 2 מהריכוז ההתחלתי. בניסוי השני שוב נצפו ריכוזים גבוהים מאוד של מלחים בדוגמים בתחילת השטיפה. מכאן, במהלך החודשים בין הניסויים הצטברה כמות גדולה מאוד של מלחים בחלל הסדק. אם כי חישוב מדויק הינו בעייתי עקב רמת אי וודאות גבוהה, נראה כי כמות המלחים שהצטברה בחלל הסדק אינה יכולה להיות מוסברת על ידי תהליכים דיפוזיביים בלבד וקיים מנגנון אידוי



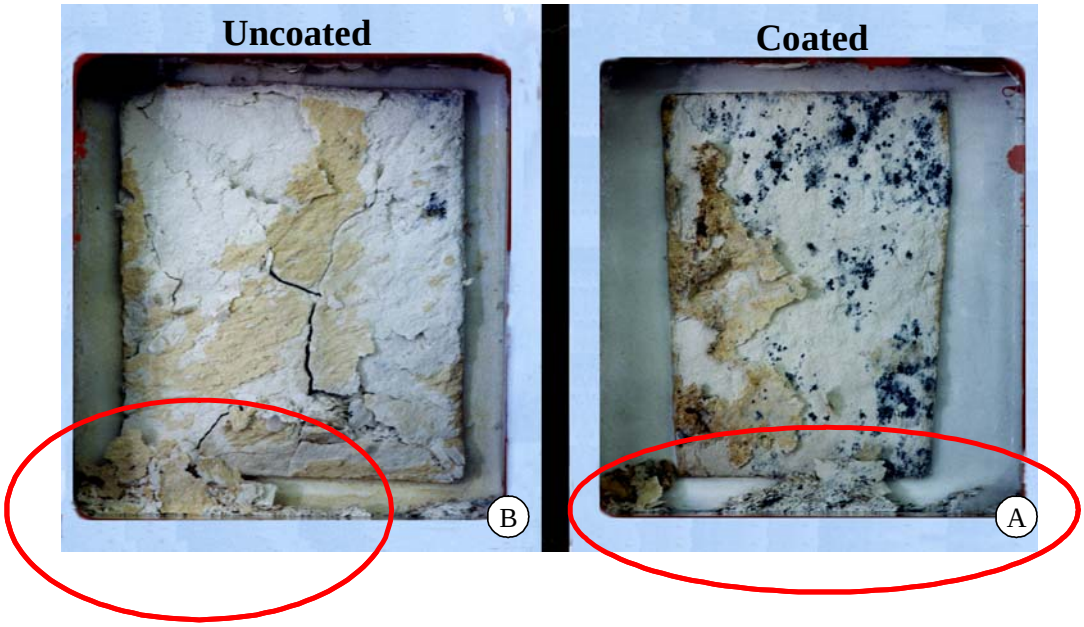
שרטוט 9 : *ריכוזים גבוהים של מלחים נצפו בדוגם בתחילת כל ניסוי זרימה (כל קו מייצג נתיב זרימה אחר). תצפיות אלו, ותצפיות דומות בניסויי מעבדה עוקבים, היו הבסיס לפיתוח המודל הקונספטואלי המוצע באיור 10 (אחרי Weisbrod et al., 2000)*

נוסף המרכז מלחים בתוך חלל בסדק (שירטוט 9).

ממצאים אלו גררו מודל קונספטואלי חדש ונושא זה נבחן כיום בעבודה נפרדת (שרטוט 10)



שרטוט 10 : סכמה המתארת את המודל הקונספטואלי שפותח בעקבות ממצאי הצטברות המלחים בחלל הסדק. (A) אידוי ישיר מדפנות הסדק מאיץ תנועה קפילרית של מי הנקבובים מהסלע אל דפנות הסדק; (B) בעוד המים מתאדים אל האטמוספרה, המלחים ממי הנקבוב שוקעים על פני ובסמוך לדפנות הסדק; (C) ארוע זרימה המתרחש לאחר תקופת יבוש/אידוי ארוכה (אופייני לאזורים מדבריים) גוררת המסה ושטיפה של המלחים אל פני מי התהום. (אחרי Weisbrod et al., 2000).



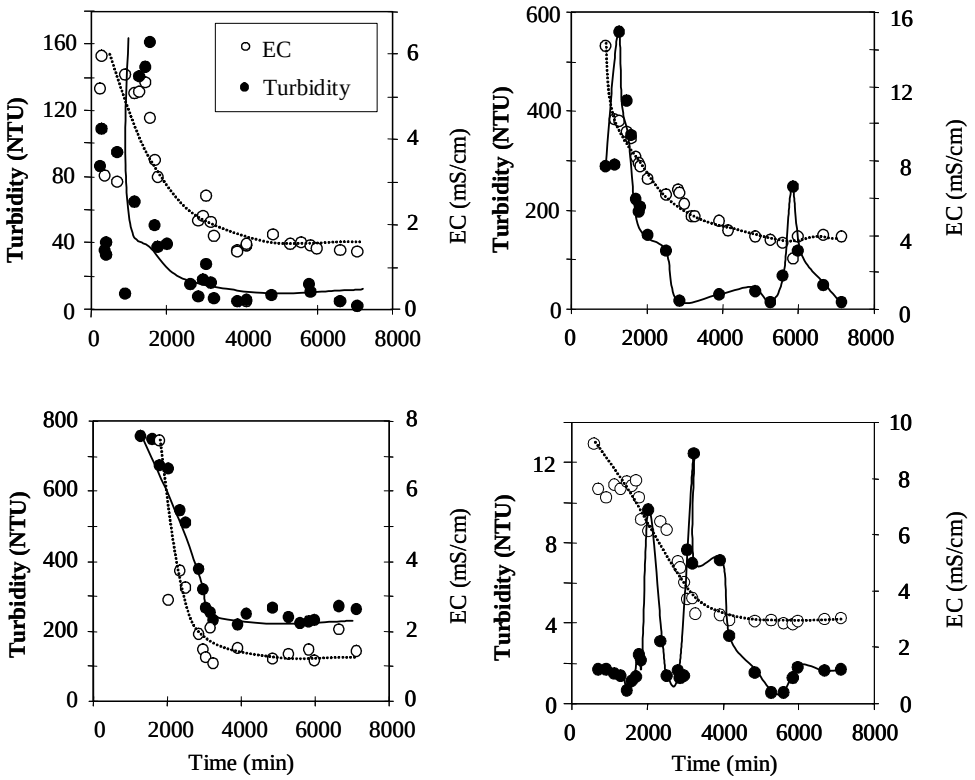
שרטוט 11: פני שטח של סדק עם ציפוי טבעי (A) וחסרי ציפוי (B), שני האזורים נדגמו מאותו סדק באזורים שונים. התמונה צולמה בזמן הזרמה של מי גשם, לאחר תקופת ייבוש של כ – 40 יום שבאה לאחר הזרמת מי שפכים מרמת חובב. ניתן לראות בברור כי קרום הסדק מתמוטט וישנה בלייה אדירה של פני הסדק. הבלייה עקב החלפת מי שפכים במי גשם הייתה גדולה באופן ניכר מזו שנמדדה כתוצאה מאירועי גשם בלבד. מכיוון שההתמוטטות במקרה זו הייתה של פיסות קרום גדולות יחסית (בניגוד לשרור חלקיקים רבים במקטע הקולואידלי באירועי גשם בלבד), ניתן להניח כי היא תביא לשינוי מהותי ואף אטימה של המפתח ההידראולי של הסדק.

במקביל לריכוזים גבוהים של מומסים, נצפו גם ריכוזים גבוהים של חלקיקים בתשטיף בשעות הראשונות של כל ניסוי נמצאה התאמה טובה בין ריכוזי חלקיקים גבוהים וריכוזי מומסים גבוהים, ומכאן ניתן לשער כי המומסים משמשים כחומר מלכד האוחז את החלקיקים בחלל הסדק, והמסה גוררת את שחרור החלקיקים. למרות ההתאמה, השתנות ריכוזי החלקיקים לוותה לעיתים קרובות בקפיצות לא מוסברות הקשורות ככל הנראה למורכבות מבנה הסדק ותהליכי היאטמות ופתיחה כתוצאה משינויים בעומד ההידראולי מעל תעלות זרימה, שקיעה של חלקיקים וכו'. יש לציין כי ניסויי מעבדה שנערכו על הגלעינים שהוצאו מקידוח המחקר האופקי חיזקו את תצפיות השדה ונמצא כי:

(1) תהליכי הייבוש וההרטבה של הסדקים גוררים ריכוז מלחים מתוך המטריקס אל פני השטח של הסדק באופן מחזורי;

(2) כמות גדולה של חלקיקים משתחררת מפני השטח של הסדק בתחילת כל אירוע זרימה. תופעה זו משמעותית יותר באזורים בהם פני הסדק מצופים וישנם יותר מינרלים במקטע הקולואידלי ה"דבוקים" באופן חלש יחסית על פני השטח של הסדק;

(3) אירועי זרימה של מי שפכים תעשייתיים בעלי חוזק יוני גבוהה וריכוזים גבוהים של חומרים אורגניים, כפי שהתרחש לעיתים באזור רמת חובב, לא גררו שחרור חלקיקים אבל גרמו ליצירת קרומים. כאשר מי גשם שטפו סדק שדרכו הוזרמו בעבר מי שפכים, נצפתה התמוטטות כללית של פני השטח של



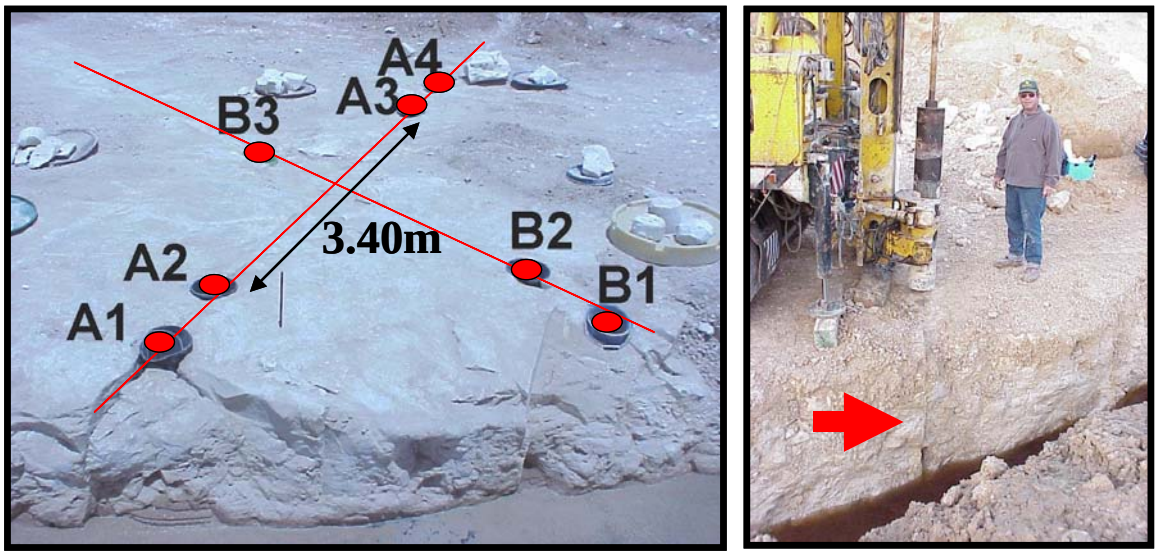
שרטוט 12 : השתנות ריכוז החלקיקים (ביחידות עכירות, NTU) ושינויי מליחות (ביחידות של מוליכות ניתן לראות כי :
(1) באופן כללי גם מלחים וגם חלקיקים נשטפו בעיקר בשעות הראשונות של הזרימה;
(2) קפיצות בריכוז חלקיקים שנשטפו לתוך הדוגם נצפו לעיתים גם זמן רב לאחר תחילת הניסוי;
(3) ישנה שונות גדולה בין נתיבי זרימה שונים (אחרי Weisbrod et al., 2002).

הסדק אל תוך חלל הסדק (שרטוט 12).

(4) תכונות הסדקים, כולל מפתחים הידראולים וחספוס, הינן דינמיות ותלויות זמן בסדקים החשופים לאירועי זרימה מזדמנים ואירועי ייבוש. בדיקות ראשוניות במספר קידוחים ברמת חובב מראות כי ישנה פאזה קולואידלית ניידת במי התהום. ככל הנראה מקור חלק מהחלקיקים שמצאו את דרכם אל התווך הרווי הוא בתהליכי הבלייה במטרים העליונים של הסדקים. למותר לציין כי תנועה מואצת של מזהמים הידרופוביים על ידי חלקיקים מהווה בעיה סביבתית חמורה באזור כמו רמת חובב.

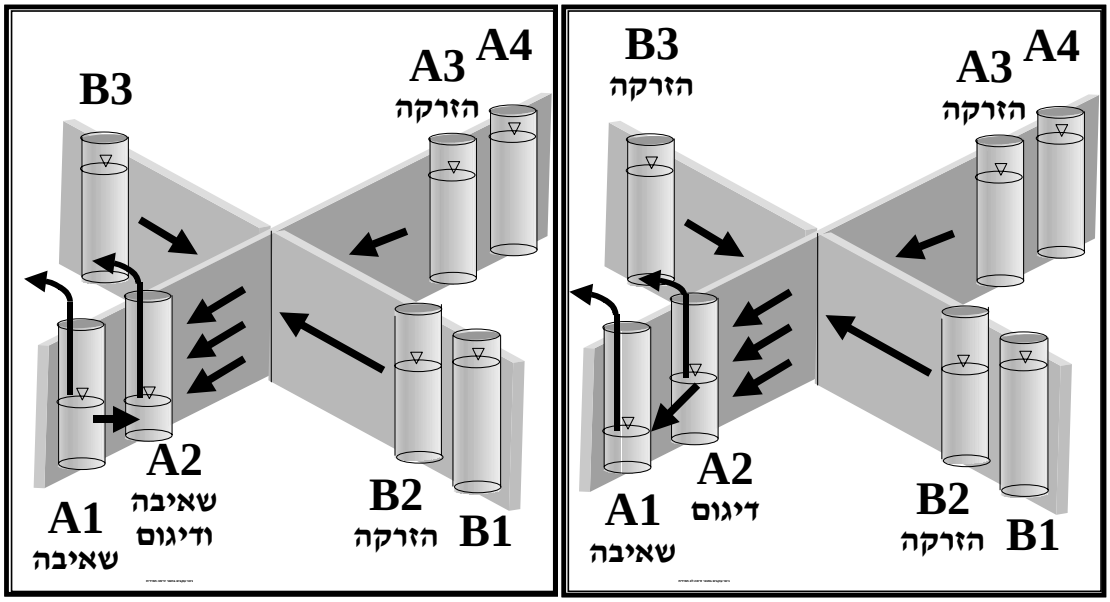
תחנה מספר 3 : נחל חובב

התחנה נמצאת במורד נחל חובב. באתר זה נערך ניסוי סמנים לבדיקת מדת ההומוגניות והאיזוטרופיות של זרימת מי התהום במערכת סדקים צולבת.



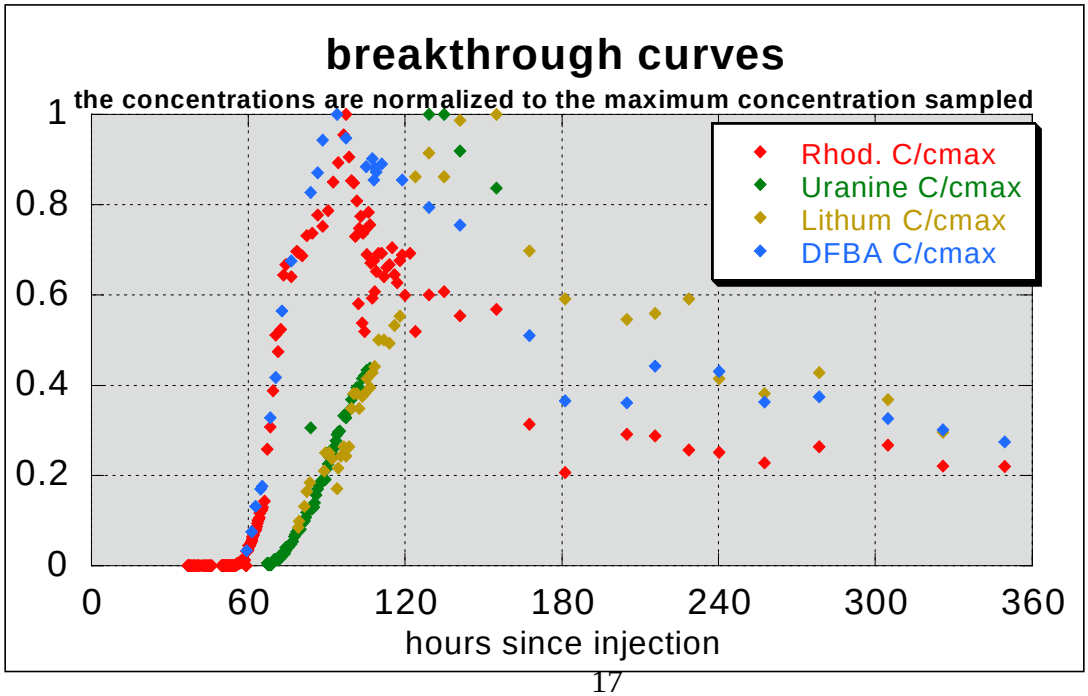
שרטוט 13 : ***מערך של שבעה קידוחי גלעין אנכיים שנקדחו לתוך ולאורך סדק נתון.***

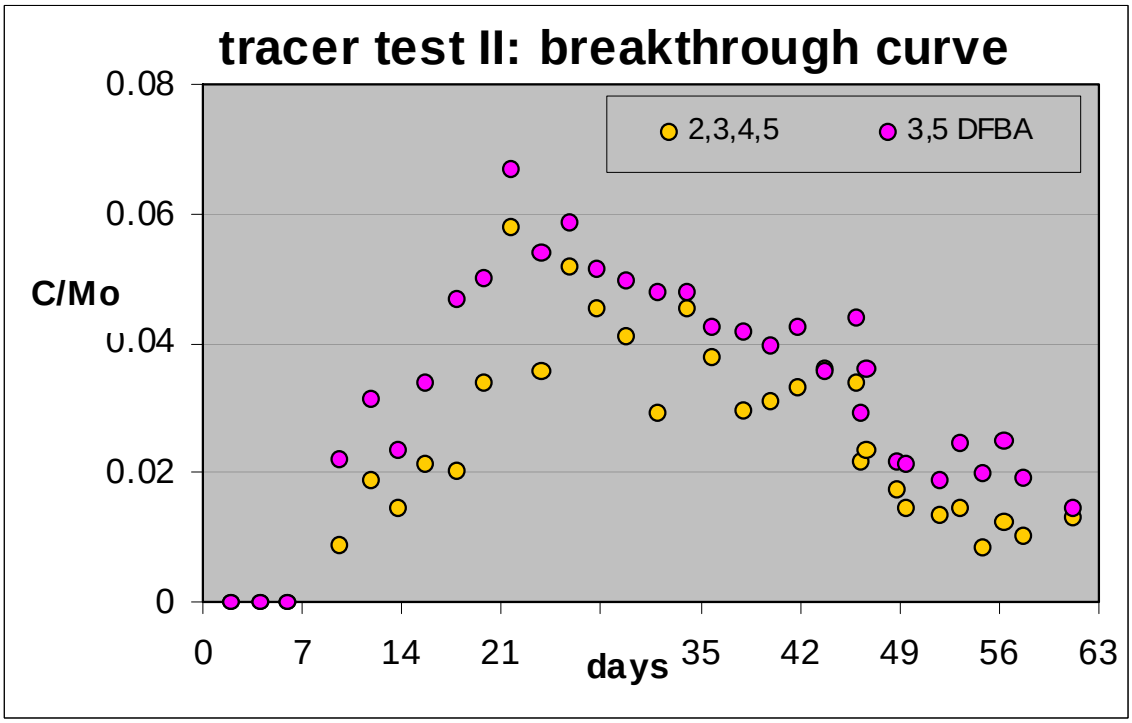
שרטוט 14 : ***צילום של שינויים בהופעה ובמפתח הסדק לאורך הקידוח.***



שרטוט 15 : ***התקנה של מערכת הזרקת הסמנים וסכמה של מערך הניסוי לזרימה תמידית ומשתנה בזמן.***

שרטוט 16 : ***עקום פריצה מנורמל למסה המקסימלית בניסוי עוקבים בתנאי זרימה לא תמידית.***

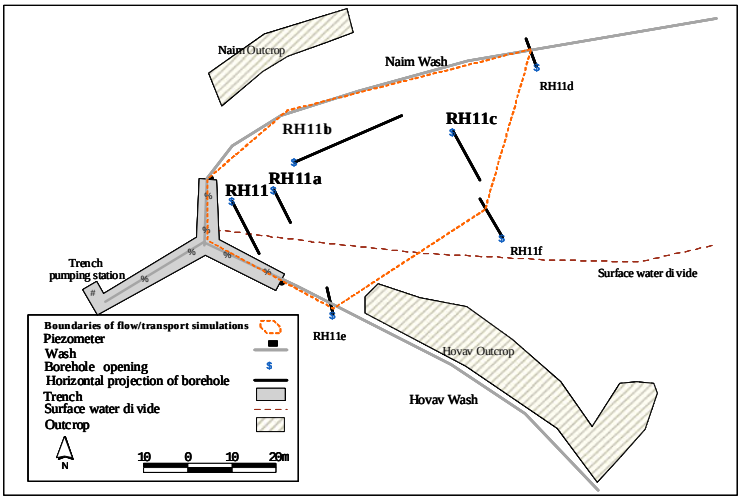




שרטוט 17 : ***עקום פריצה מנורמל למסה המוזרקת בניסוי עוקבים בתנאי זרימה תמידית.***

תחנה מספר 4 : מפגש הנחלים - חובב וסכר.

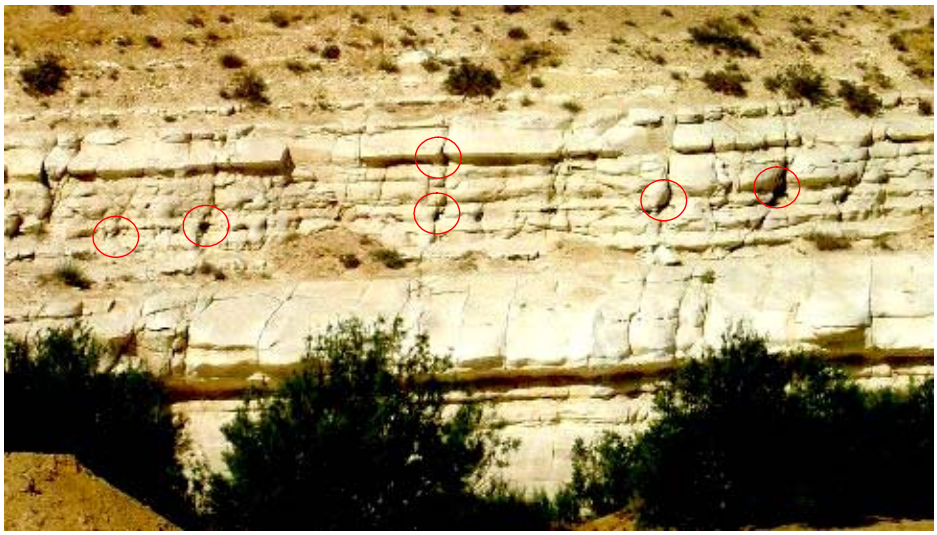
התחנה נמצאת במפגש הנחלים חובב ונעים (שרטוט 2). באתר זה נערכו ניסויי שאיבה וסמנים (שרטוטים 19,18) במספר בארות בו זמנית, לאיפיון הזרימה של מים והסעת מומסים במערכות סדקים בקנ"מ של עשרות מטרים. במקביל פותחה מתודולוגיה המאפשרת הבנה טובה יותר של המבנה המרחבי של מובלי המים העיקריים בקרטון, על סמך אינטרפרטציה אנליטית של מבחני השאיבה והסמנים ויושמה למבחנים אלו (Kurtzman et al. 2005b). סיקרי סדקים במחשופי הקרטון הסמוכים, בגלעינים ובמקטעים מבודדים בקידוחים נעשו במטרה ליצור רשתות סדקים (fracture networks), המדמות את הגיאומטריה והתכונות ההידראוליות של רשת הסדקים התלת ממדית בקרטון. מודלים נומריים של זרימה והסעה ברשתות סדקים אלה כוילו על סמך נתוני מבחן שדה אחד, ויכולת החזוי של מודלים אלה נבדקה על סמך נתונים של מבחני השדה האחרים.



שרטוט 18 : ***מפת אתר המחקר לזרימה והסעה ברשת סדקים (fracture network) שבמפגש הנחלים חובב ונעים.***

שרטוט 19 : ***אתר המחקר במפגש הנחלים חובב ונעים בעת ביצוע מבחן הסמנים באביב 2003.***

תוצאות המחקר באתר זה מראות על מוליכויות הידראוליות אקויולנטיות (לתווך הומוגני ואנאיזוטרופי) של 0.6 מ'/יום בכיוון 060 מעלות ו- 0.2 מ'/יום בכיוון 150 מעלות. מהירות הזרימה הממוצעת בסדקים היתה בסביבות 3 מ'/שעה עם מסלולים מהירים של עד 100 מ'/שעה (מהירויות אלה נצפו תחת גרדיאנט הידרואלי מאולץ של כ 6%). מובילי המים העיקריים הם חד ממדיים אופקיים הנוצרים בחלק מהמפגשים של סדקים אנכיים ומשורי שכוב (שרטוט 20). ביסוס המודלים של רשתות הסדקים על ריאליזציות סטוכסטיות בלבד התגלה כלא יעיל לכיול מודלים של חיזוי. הדיוק הממוצע של מודלים דטרמינסטיים של רשת הסדקים לגבי השינוי הטראנזיאנטי בעומד בארבעה קידוחים כתוצאה משאיבה באחד מהם, היה 66%. המודל שלקח בחשבון תולכות גבוהות במפגשים בין סדקים אנכיים למשורי שכוב חזה טוב יותר את עקום הפריצה של מבחן הסמנים העיקרי, ממודל שהתבסס על סדקים אנכיים בלבד.



שרטוט 20 : ***סדקים במחשוף שבנחל חובב שימו לב למפתחים הגדולים המוקפים בעיגול.***

תחנה מס' 5 : בריכות האידוי לשפכים – מערך איגום שפכים לאידוי

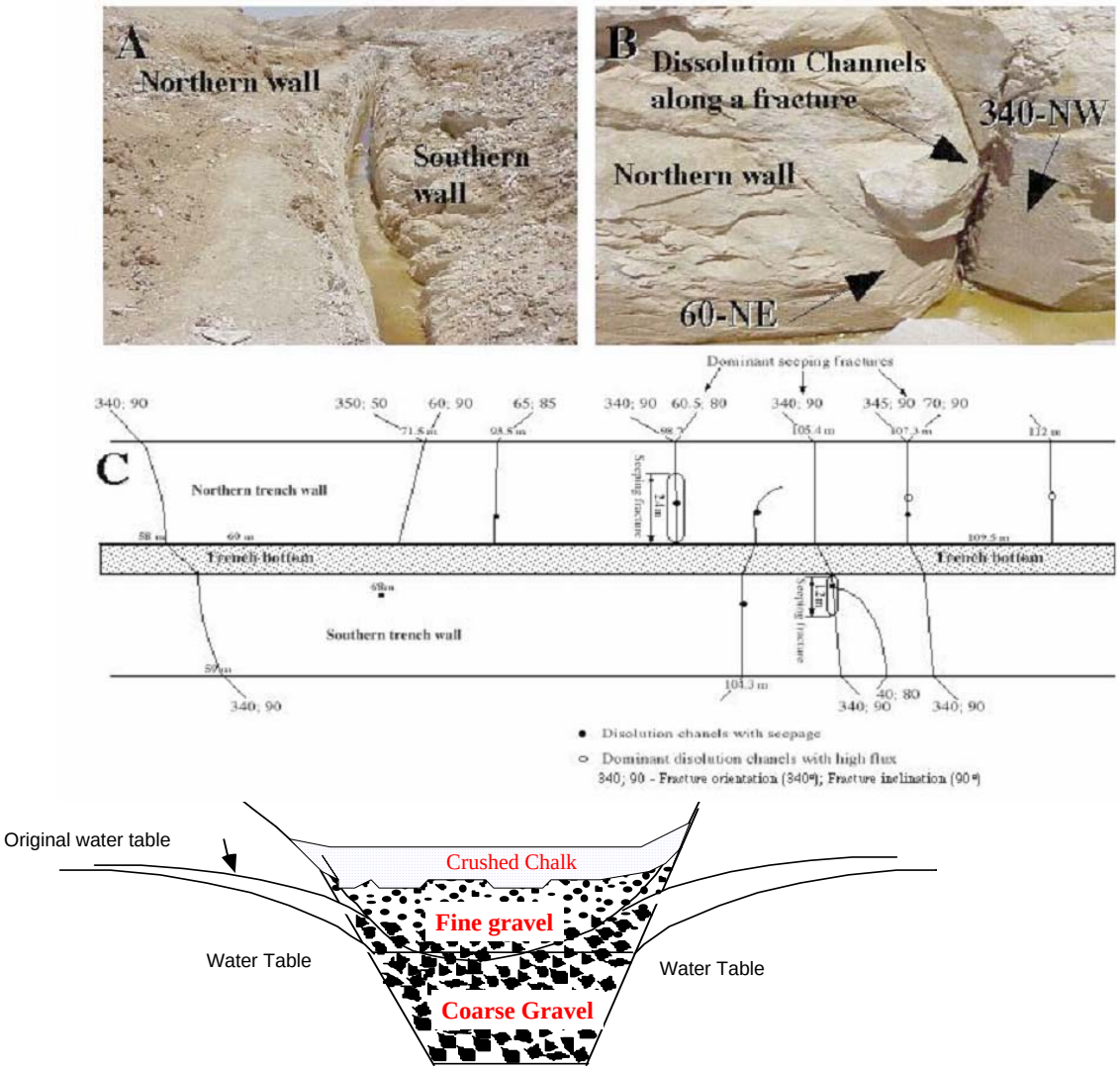
תצפית על בריכות האידוי, מערך הניקוז העילי והקשר האפשרי למערך הניקוז של מי התהום (שרטוטים 1 ו 2). התחנה נמצאת על הגדה הדרומית-מרבית של נחל סכר ומעל בריכות האידוי. מהאתר נשקפת תצפית על מערך הבריכות לסילוק השפכים של רמת חובב. מדובר ב-14 בריכות בנפח כולל של 5.5 מיליון מטרים מעוקבים.

תחנה מספר 6 : נקזי נחל סכר

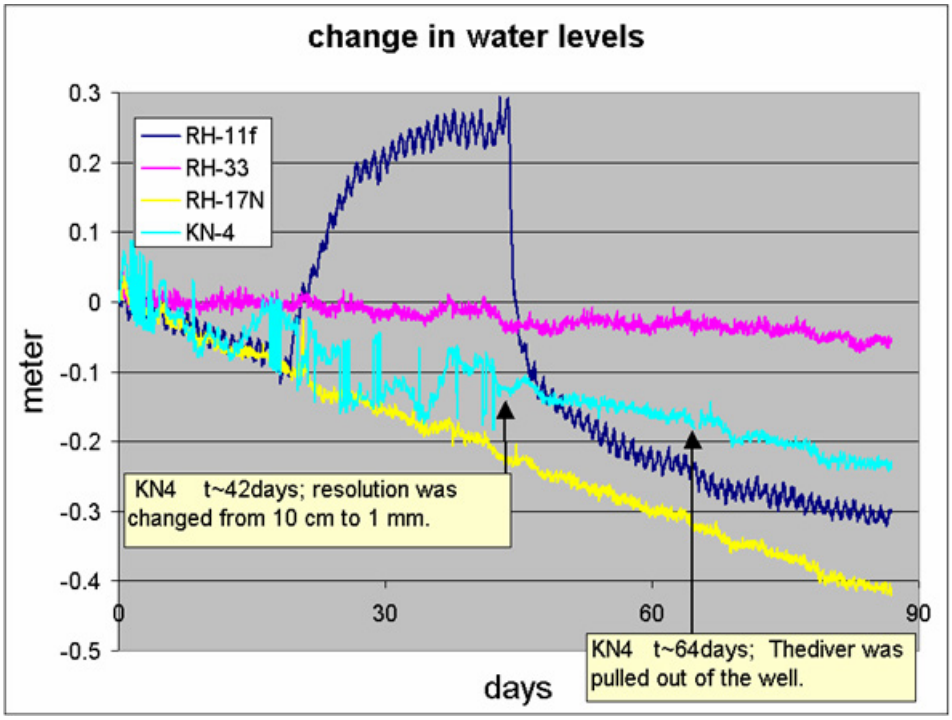
בעבר הלא רחוק הגיעו מפלסי מי התהום לפני השטח לאורך נחל חובב התיכון באזור המועצה ובמורד מאתר ההמטרה הישן. לאור המלצתנו, נחצבו חמישה נקזים (שרטוט 20) לאורך הנחלים חובב וסכר (שרטוט 2). עם הכשרת הנקזים לאורך נחל חובב ובמפגש הנחלים חובב ונעים (שרטוט 21) והתקנת חמש תחנות שאיבה בתוכם ירדו המפלסים בין 0.8 ל-3.5 מ' מפני השטח, כתלות בטופוגרפיה שלאורך הנחל וכתוצאה מכך פסקו הנביעות לאורך נחל חובב. בכך הוקטן הנגר המזוהם היוצא בעת סופות גשם גדולות ממתחם רמת חובב עם גל הגאות למורד. הפסקת הנביעות הקטינה גם את הצטברות מלחים על גדות הנחלים והפחיתה את זיהום הנגר הגולש מנחל חובב לנחל סכר.

לאורך הנקזים ישנם קידוחי תצפית במעלה ובמורד הנקזים, המצביעים על יעילותה של השיטה לניקוז המים המזוהמים מהאופק העליון של הקרטון (שרטוט 22).הוכח שתעלות ניקוז מתחת למפלס מי התהום יכולות להוריד את המפלסים ולמנוע נביעות של מי תהום מזוהמים וסחיפתם למורד בעת שטפונות. לצורך זה יש להקפיד על פרוטוקול חציבה ובניית שכבות ניקוז מוגנות מפני סחף וגרופת בעת שטפונות.

שרטוט 20 : חציבת תעלות לאורך נחל חובב לניקוז סדקים רוויים ולמניעת נביעות מי תהום מזוהמים.



שרטוט 21 : *הכשרת תעלות לניקוז מי תהום עליונים מסדקים.*



שרטוט 22 : *ירדת מפלסים של מי התהום בסביבת הנקזים לאורך נחל חובב.*

תחנה מספר 7 : נחל סכר במורד מאתר רמת חובב - ההשפעה של תעשייה על איכות מי שיטפונות

הקטנת נפח גל הגאות ע"י המאגרים (לימנים) שהוקמו בנחל חובב העליון (שרטוט 2) אמורה להפחית את גריפת המזהמים שהצטברו במהלך השנים לאורך אפיקו של הנחל ממתחם המפעלים ומערבה לנחל סכר. עם זאת, יש לדאוג בהקדם לשתילה של צמחים במאגרים אשר ינצלו את המים האגורים וימנעו את חלחולם לתת הקרקע. חלחול כזה אינו רצוי בגלל תרומתו הצפויה לעליית מפלסים נוספת באזור המפעלים, מקום רגיש לבעיה זו.

לעצירת הנגר והאיגום בתחום המפעלים השפעה על הרכב ותכולת המזהמים בחזית גל הגאות. שחרור מבוקר של הנגר מחצרות המפעלים אל צינורות השפכים עם שוך הסערה מנע במהלך החורפים האחרונים קריסה של מערך הולכת השפכים (כפי שקרה בעבר כמעט מדי חורף).

שרטוט 23 : *דיגום חזית גל הגאות והזרימה השטפונית בנחל סכר.*

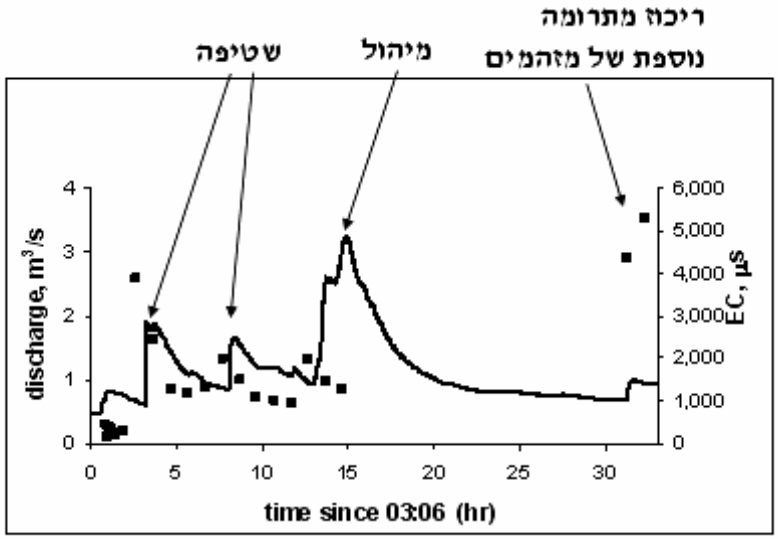
מעט ידוע על הזיהום במי שיטפונות מתעשייה באזורים מדבריים. ללמוד את הנושא נבחר נחל סכר, יובל של נחל באר שבע המנקז את האתר התעשייתי של רמת חובב ושטח של כ 233 קמ"ר באזור צחיח. החל

מאמצע שנות ה-70 פועלים באתר מפעלים כימיים והאתר הארצי לטיפול בפסולת רעילה. מאז שנת 1992 אין הזרמות ישירות של שפכים תעשייתיים לנחל סכר, אך עדין ניתן להבחין בפכפוך בנחל, תוצר של מי תהום גבוהים ומזוהמים הזורמים לאורך מישורי הסידוק בתוך האקוויטרד הקרטוני. בנוסף, ייתכן זיהום למי שיטפונות מנגר מדרוני וערוצי באזור שיש בו זיהום אטמוספרי מהאתר התעשייתי ושפכים הזורמים לפעמים בנחל.

מטרת המחקר היא לבדוק הימצאות של מזהמים וריכוזם בשיטפונות בנחל אכזב באזור צחיח למחצה ע"י אפיון ריכוז, סוג המזהמים והשתנותם העיתית בהדגמת נחל סכר. בהתאם לכך נקבעו למחקר מספר מטרות: לאפיין את השתנותם העיתית של המזהמים בנחל במהלך השיטפון, להעריך את סה"כ השטף של מזהמים בשנה נתונה כתלות באופייה ההידרולוגי, לאפיין את המזהמים בנחל והשתנותם בשיטפונות בעלי גודל ואופי שונה ולבחון האם ניתן לזהות את המקורות והתרומה היחסית של המזהמים.

מחקר זה מתבסס על נתוני שדה בניטור ודגימה אוטומטיים של מי השיטפון (שרטוט 23) בתחנת מדידה הידרולוגית שמוקמה על נחל סכר ועל בדיקות מעבדתיות. אופי וסוג הנתונים הנאספים באים לענות על אופים הכימי של שיטפונות בספיקות מים מדודות כולל אניונים ויסודות מומסים, תרכובות אורגניות מעט נדיפות (semi volatiles), pH, מוליכות חשמלית של מים, ריכוז רחופת וקשרים ביניהם ונסיון לזהות ולקמט את המזהמים הספוחים לרחופת המוסעת בשיטפונות ברמת חובב. מאגר הנתונים שעליו מתבססת העבודה אמור לאפיין את נחל סכר בקנה מידה עיתי של השינויים תוך-אירועים , בין-אירועים ועונתיים. לאחרונה נוספה תחנה בנחל חובב שמטרתה לבודד את הזיהום המגיע בשיטפונות ישירות מאתר התעשייה.

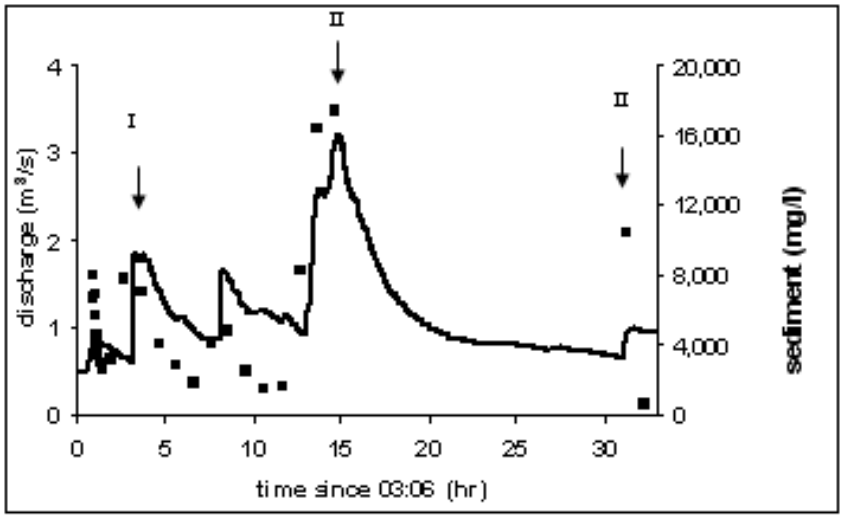
מערכת המדידה והדגימה האוטומטית הופעלה ב-2 אירועי זרימה בחורף 2003-4. האירוע הראשון (15.12.2003) היה מעל-גדות וספיקת שיא 16.2 מ^3\שנ', והשני (13.01.2004) היה קטן יחסית (ספיקת שיא 3.2 מ^3\שנ'). התוצאות משיטפונות אלה מדגימות שני עקרונות: (1) הריכוז של מזהמים הינו מקסימלי בתחילת הזרימה (תופעת ה-first flush) ו- (2) אירוע גדול שוטף ('מנקה') את האפיק.



בחורף 2004-5 נוטרו ונדגמו 5 אירועי זרימה. התוצאות מוצגות בשרטוט 24.

קיימת שטיפה במשך השיטפון, מיהול רק בעלייה ה-3, אך בד בבד הייתה תרומה של מזהמים גם במהלך שיטפון קטן זה.

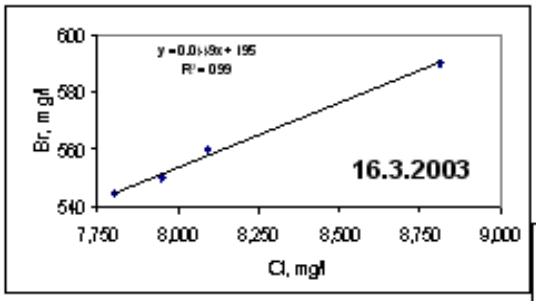
שרטוט 24 : *תוצאות של מלחים ומזהמים במי השיטפון.*

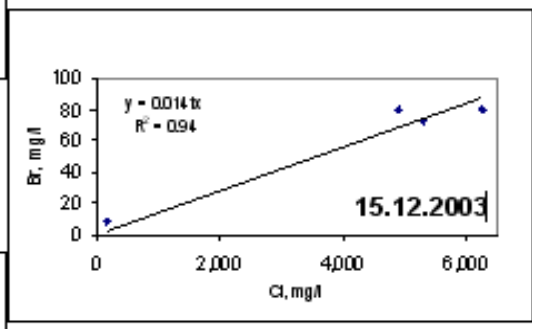


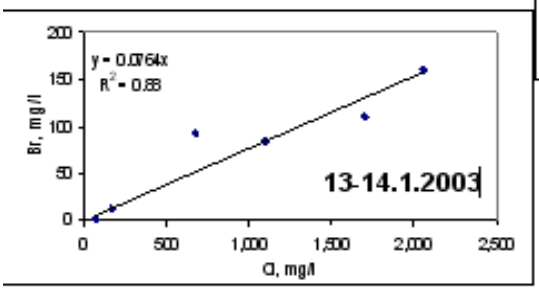
ובדומה, עם העלייה בספיקת המים יש עלייה בריכוז הרחופת.

לכך השפעה על הסעת מזהמים ספוחים.

יחסי ברום\כלור משתנים בין אירועי הזרימה.
במרץ 2003 היחס היה 1:22,
בדצמבר 2003 היחס היה 1:71,
ובינואר 2004 היחס היה 1:13.

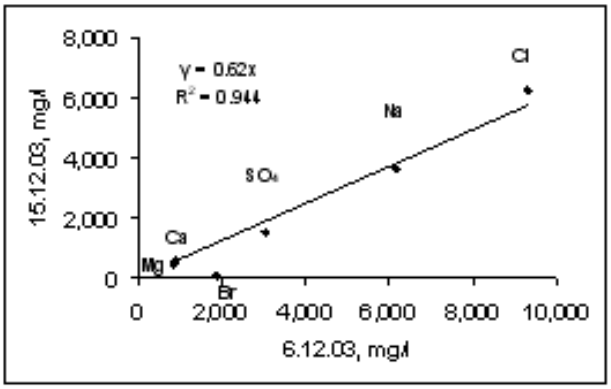




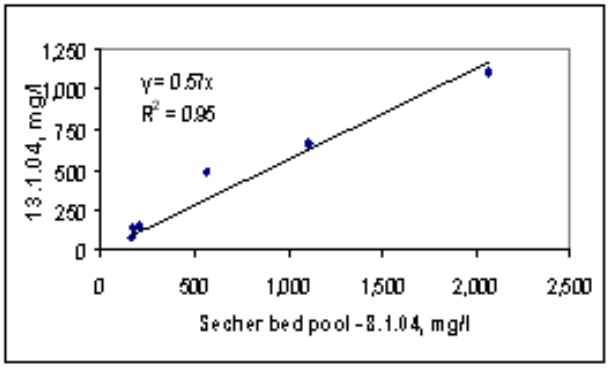


ככל שעלה כלל ריכוז המזהמים, כן עלה היחס ברום\כלור. ז.א., זיהום ניכר קשור לשחרור מועשר בברום.

שרטוט 24 : ***תוצאות של מלחים ומזהמים במי השיטפון (המשך)***



יחס מיהול קבוע בריכוזי יונים עיקריים בחזית שיטפונות במעלה נחל סכר



המיהול הקבוע (פרט לברום, שהיה במיוחד נמוך במי השיטפון הגדול) של חזית השיטפון מעיד על כך כי המקור של מזהמים בחזית אמנם בפכפך

שרטוט 24 : ***תוצאות של מלחים ומזהמים במי השיטפון (המשך)***

תחנה מספר 8 : האתר הארצי לטיפול ובידוד פסולת רעילה (שרטוטים 1 ו 2)

4. מקורות

Adar, E. and Nativ, R., 2003. Isotopes as tracers in a contaminated fractured chalk aquitard. Journal of Contaminant Hydrology. 60:on-line.

Arnon, S., E. Adar, Z. Ronen, A. Nejidat, A. Yakirevich, and R. Nativ,2005. Biodegradation of 2,4,6-tribromophenol during transport in fractured chalk. Environmental Science and Technology, 39: 748-755.

Arnon, S., E. Adar, Z. Ronen, A. Yakirevich, and R. Nativ, 2005: Impact of microbial activity on the hydraulic properties of fractured chalk. Journal of Contaminant Hydrology, 76:315-336.

Bahat, D. 1987a. Jointing and fracture interaction in Middle Eocene chalks near Be'er-Sheva, Israel. *Tectonophysics* 136, no. 3-4: 299-321.

Bahat, D. 1987b. Correlation between fracture surface morphology and orientation of cross-fold joints in Eocene chalks around Be'er-Sheva, Israel. *Tectonophysics*.

Bernstein, A., 2003: Spatial distribution of solute transport along fractures in saturated chalk formations. M.Sc.Thesis, Ben Gurion University of the Negev, 93 pp. and app.

Dahan, O., Nativ, R., Adar, E., and Berkowitz, B., 1998. A measurement system to determine water flux and solute transport through fractures in the unsaturated zone. Ground Water 36:444-449.

Dahan, O., Nativ, R., Adar, E., Berkowitz, B., and Ronen, Z., 1999. Field observation of flow in a fracture intersecting unsaturated chalk. Water Resources Research, 35:3315-3326.

Dahan, O., Nativ, R., Adar, E., and Berkowitz, B., 2000. On fracture structure and preferential flow in unsaturated chalk. Ground Water 38:444-451.

Kurtzman, D., Nativ, R., and Adar, E., 2005. Correlating fracture trends and hydraulic head using semivariogram cloud analysis. Ground Water.

Kurtzman, D. , Nativ, R. and Adar, E., 2005. The conceptulization of a channel network through macroscopic analysis of pumping and tracer tests in fractured chalk. Journal of Hydrology.

Nativ, R. and Nissim, I., 1992. Characterization of an aquitard—the Avdat Chalk, Negev desert, Israel. Ground Water 30:598-606.

Nativ, R., Adar, E., Dahan, O., and Geyh, M., 1995. Water percolation and solute transport through the vadose zone of fractured chalk under desert conditions. Water Resources Research, 31:253-261.

Nativ, R., Adar, E., Dahan, O., and Nissim, I., 1997. Water salinization in arid regions—observations from the Negev Desert, Israel. Journal of Hydrology, 196:271-296.

Nativ, R., Adar. E., and Becker, A., 1999. A monitoring network for groundwater in fractured media. Ground Water 37:38-47.

Nativ, R., Adar, E., Asaf, L., and Nygaard, E., 2003. Characterization of the hydraulic properties of fractures in chalk. Ground Water 41:532-543.

Polak, A., Nativ, R., and Wallach, R., 2002. Matrix diffusion in northern Negev chalk formations and its correlation to porosity. Journal of Hydrology 268:203-213.

Polak, A., Grader, A. S., Wallach, R., and Nativ, R., 2003. Chemical diffusion between a fracture and the surrounding matrix: measurement by computed tomography and modeling. Water Resources Research, 93:106.

Polak, A., Grader, S. A., Wallach, R., and Nativ, R., 2003b. Tracer diffusion from a horizontal fracture into the surrounding matrix: measurement by computed tomography. Journal Contaminant Hydrology 60.

Wefer-Roehl, A., Graber, A. R., Borisover, M. D., Adar, E., Nativ, R., and Ronen, Z., 2000. Sorption of organic contaminants in a fractured chalk formation. Chemosphere 44:1121-1130.

Weisbrod, N., Nativ, R., Adar, E., and Ronen, D., 1998. On the variability of fracture surfaces in unsaturated chalk. Water Resources Research 34:1881-1887.

Weisbrod, N., Nativ, R., Adar, E. and Ronen, D., 1999. The impact of intermittent rainwater and wastewater flow on coated and uncoated fractures in chalk. Water Resources Research 35:3211-3222.

Weisbrod, N., Nativ, R., Adar, E., and Ronen, D., 2000a. Salt accumulation and flushing in unsaturated fractures in an arid environment. Ground Water 38:452-461.

Weisbrod, N., Nativ, R., Adar, E., Ronen, D., and Ben-Nun, A., 2000b. Impact of coating and weathering on the properties of chalk fracture surfaces. Journal of Geophysical Research 105:27,853.

Weisbrod, N., Dahan, O. and Adar, E. A., 2002: Particle transport in unsaturated fractured chalk under arid conditions. Journal of Contaminant Hydrology 56: 117-136

חבורת חצבה באגנים הפנימיים של הנגב הצפוני:
סטרטיגרפיה, טקטוניקה ופליאוגיאוגרפיה

רן קלבו

המכון הגיאולוגי, ירושלים.

יוסף ברטוב

המכון הגיאולוגי, ירושלים.

דוד ויינר

הקריה למחקר גרעיני, נגב.

1.הקדמה

הסיור יתמקד בהכרת החתך הסטרטיגרפי של חבורת חצבה המיוקנית באגנים של הנגב הצפוני, בשאלת גיל החתך ויחסי ים-יבשה המיוצגים על ידו, ובעדויות לגיל הקימוט של הקמרים (חתירה, חצרה וזוהר-אפעה) הבאות לידי ביטוי בסלעים אלה.

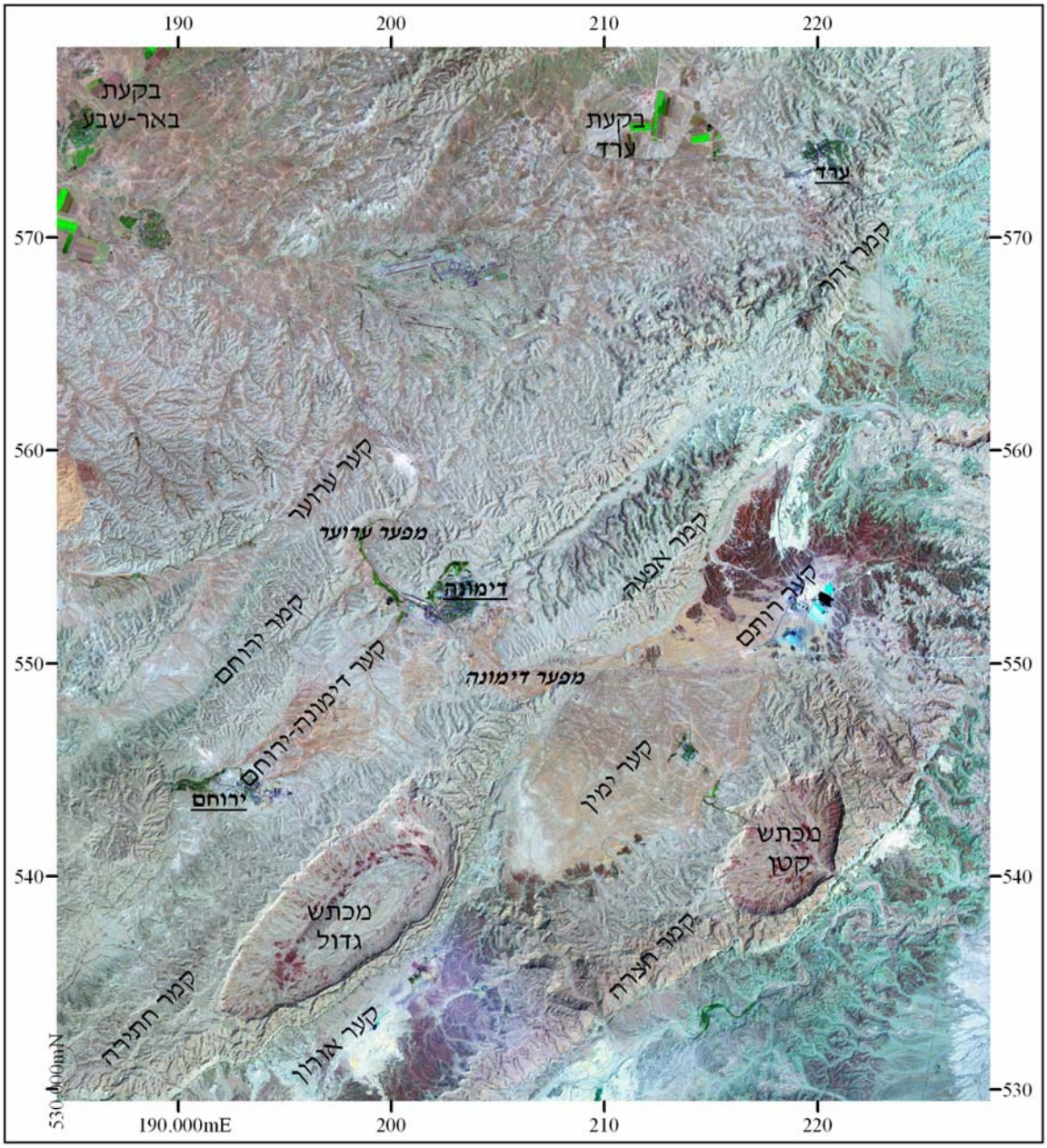
סלעים מחבורת חצבה נחשפים בנגב, בערבה, במזרח מצרים (סיני) ובעבר הירדן. בנגב הצפוני הם מצויים בעיקר בקערים של קמטי ה"קשת הסורית" (קער ירוחם-דימונה, קער ימין-רותם וקער ערוער), בראש רכס זוהר (בקרבת ערד), ובמפערים החוצים את שולי קמר חתירה (מפער דימונה) ושולי קמר ירוחם (מפער ערוער) (איור 1). המחשופים באזור הנגב הצפוני תוארו במספר רב של עבודות (לדוגמא: Neev, 1960; חרש, 1967; Gvirtzman and Buchbinder, 1969; Shahar, 1973).

Calvo and Bartov (2001) הציגו חלוקה מחדש של חבורת חצבה לתצורות הבאות: תצורת אפעה (פרט שחק ופרט משק), תצורת גדרון, תצורת צפע, תצורת רותם ותצורת כרכום (איורים 2, 3). יחידות סטרטיגרפיות אלה מסייעות לקביעה של תקופות הפעילות במערכות הטקטוניות (שברי הבקע, שברי הרוחב נגב-סיני וקמטי ה"קשת הסורית") בדרום ישראל.

הסיור עובר בין קמטי ה"קשת הסורית": מערכת של קמטים אנטיקלינריים תת-מקבילים, אשר נדונו בפרוט על ידי רבים. המערכת נמשכת מאזור פלמירה שבסוריה לדרום מערב, ויוצרת בישראל קשת מאזור השומרון דרך הקמרים של הרי יהודה לנגב הצפוני ולצפון סיני בכיוון צפון-צפון-מזרח עד צפון-מזרח. העדר הסימטריה של המבנים בולט במיוחד בנגב הצפוני, במבנים המונוקליניים של חצרה (המכתש הקטן) וחתירה (המכתש הגדול), שאגפם הדרום מזרחי תלול יותר (איור 1). בכמה מהמבנים של ה"קשת הסורית", נמצאו בתת-הקרקע העתקים הפוכים (Druckman et al.,1995). ובחלקם התפתחו מבנים אירוזיביים במרכז (מכתשים).

יחסי הזמן והמרחב של פעילות הקימוט על מבני המערכת זכו לטפול בעבודות רבות. תחילתה מתועדת באי התאמות זוויתיות בתקופת השקעת תצורת מנוחה (קוניאק עליון), ובשינויי העובי והפציאס המצביעים על התפתחות הסטרוקטורות המקומיות. בן-תור ופרומן (1951, 1961) הראו כי בנגב החל הקימוט בטורון המאוחר - סנון. לדעתם מחצית משיעור הקימוט הסתיימה באיאוקן התיכון, והמחצית השנייה באמצע השלישון. פרוינד וזק (1973) טענו כי בקמרים של הנגב הצפוני, מצפון למכתש הגדול,

חלק מהקימוט מאוחר לחבורת חצבה, בעוד שבקמר חתירה ודרומה כל הקימוט קדום לחבורת חצבה. Zilberman (2000) דן בהרחבה בהיסטוריה הגיאולוגית של שלבי היווצרות המכתשים השונים. במסגרת הסיור יוצגו עדויות לשלבים של פעילות הקימוט שהם קדומים, תוך כדי, ומאוחרים לחלקי חתך שונים בחבורת חצבה.



איור 1: *האגנים הפנימיים של הנגב הצפוני על רקע הדמאת לווין LANDSAT.*

2. סטרטיגרפיה ויחסי שדה של תצורת חצבה

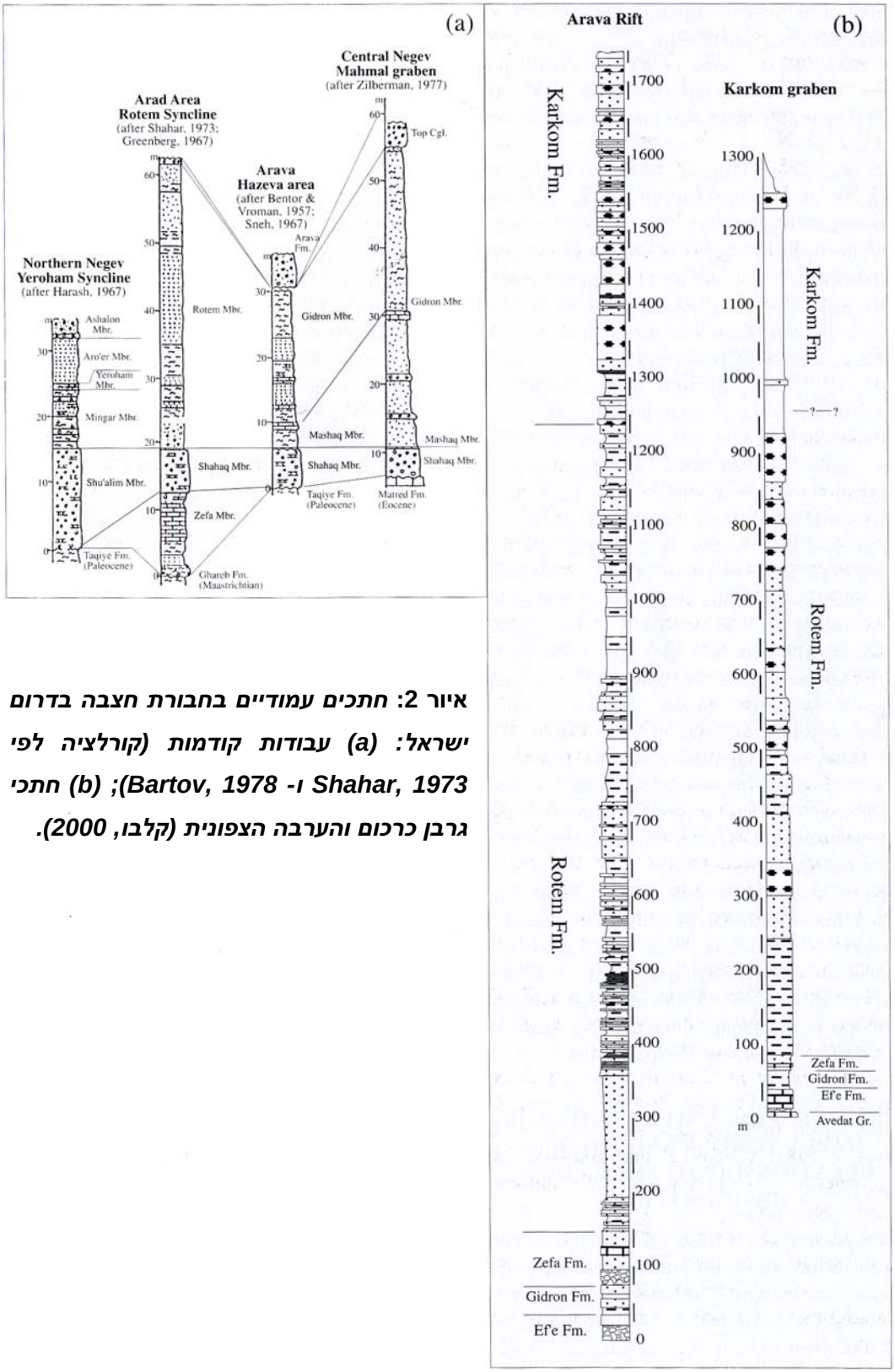
2.1 אגן ימין-רותם

הגיאולוגיה של אזור קער ימין-רותם נחקרה וסוכמה בעבודותיהם של ארד (1958), הירש (1995), הירש ושחר (1993), הרפז (1961), בן-תור ופרומן (1961), Greenberg (1967), פרוינד וזק (1973),

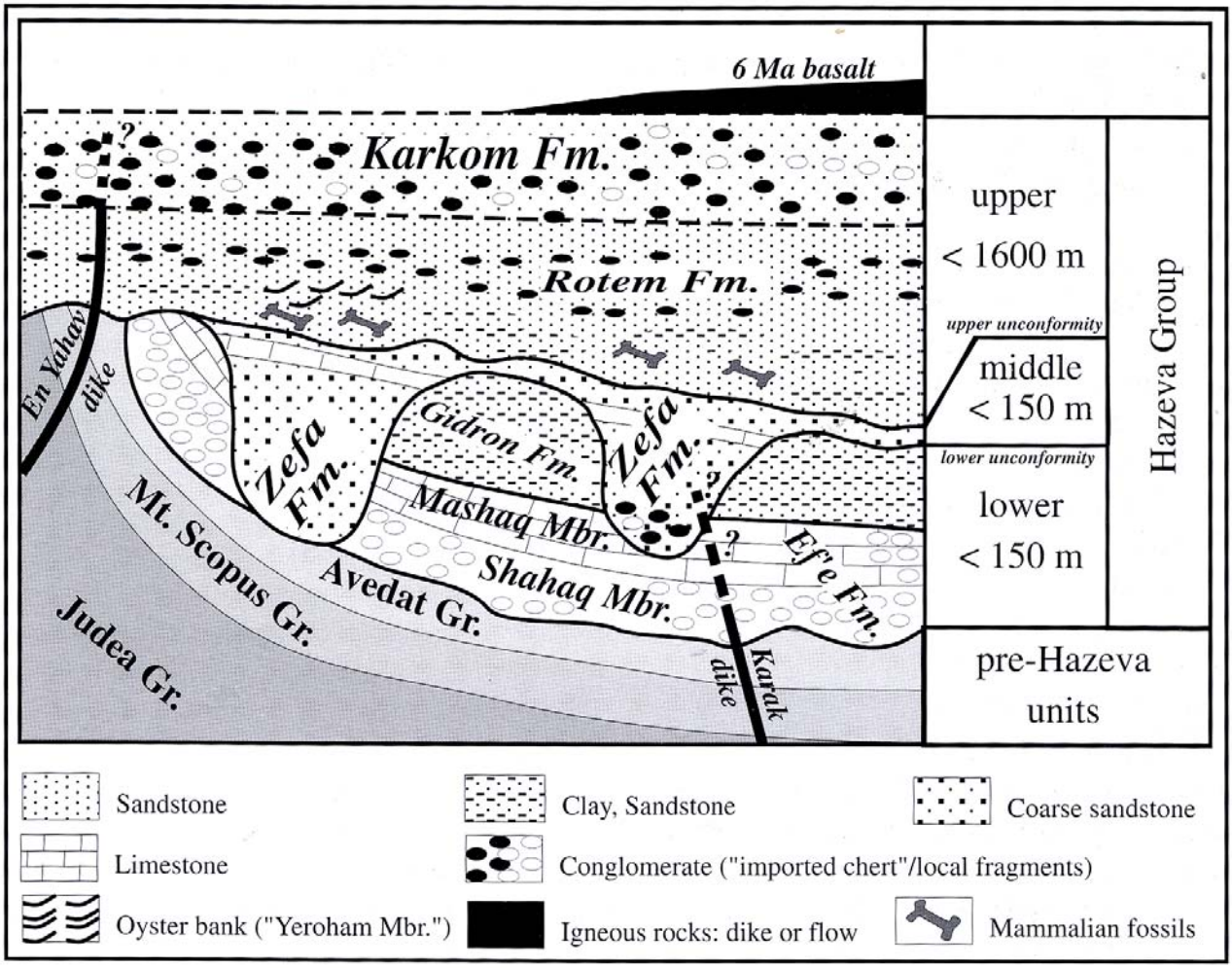
Roded (1982) רודד, (1996,1978) ועוד רבים אחרים. עבודות אלה הגדירו את יחסי השדה שבין חבורת חצבה לבין הסלעים שגילם קרטיקון עליון - איאוקן, והציגו חלוקה סטרטיגרפית של חבורת חצבה, קרובה ככל הניתן לזו של הערבה הצפונית (Sneh, 1967) (איור 4). Shahar (1973) הציע לאזור מישור רותם חלוקה שונה לפרטים צפע, שחק ורותם (איורים 2a, 4). התיאור שלהלן מבוסס על החלוקה החדשה של חבורת חצבה (קלבו, 2000; Calvo and Bartov, 2001).

<u>תצורת אפעה</u>

בתצורה זו (איורים 3, 4) שני פרטים המשנים את יחסי העובי והמרכיבים שלהם: בחלק בתחתון - פרט שחק, אשר יוצג במסגרת הסיור בשני מחשופים: (1) בנחל ממשית, בשוליים המערביים של האגן (תחנה 7, איור 5a); (2) בנחל חברבר, בשוליים הצפוניים של האגן (תחנה 3, איור 5b). חשיפה נוספת קיימת בנחל ימין, בשוליים המזרחיים של האגן (נ.צ. 2124/5397, אלרון, 1980). פרט שחק עשוי מקונגלומרט שחלוקיו נגזרו מחבורות יהודה, הר הצופים ועבדת. לא נמצאו בו חלוקים שנגזרו מפנים המכתש הגדול (חבורת ערד וחבורת כורנוב). פרט משק שמעליו מוכר במספר מחשופים דקים מסביב לאגן (נחל ממשית, נחל חברבר וביובלים של נחל ימין) (איור 5) בהתאמה מעל לפרט שחק. מחשופים אלו מראים דמיון רב למחשופים שבערבה ובנגב המרכזי, הן ברצף השכבות הבודדות והן בהרכב הגיאוכימי והאיזוטופי של סלעי הגיר בהם (קלבו, 2000), עדות להשקעתו של פרט זה מגוף מים (אגם) אחיד ונרחב. בנחל ממשית פרטי תצורת אפעה נטויים לאורך מורד הקמר (איור 5a). הנטיות של סלעי הקרטיקון - איאוקן באגף המזרחי של קמר חתירה הן כ-30 מעלות מזרחה, ואילו הפרטים שחק-משק נטויים כ-15 מעלות. מאחר שקשה להניח כי נטיות אלו הן מקוריות, אנו מעריכים כי חלק לא מבוטל מהנטייה מתעד את המשך הקימוט של קמר חתירה, לאחר השקעת תצורת אפעה (איור 6).



איור 2: חתכים עמודיים בחבורת חצבה בדרום ישראל: (a) עבודות קודמות (קורלציה לפי Shahar, 1973 ו- Bartov, 1978); (b) חתכי גרבן כרכום והערבה הצפונית (קלבו, 2000).



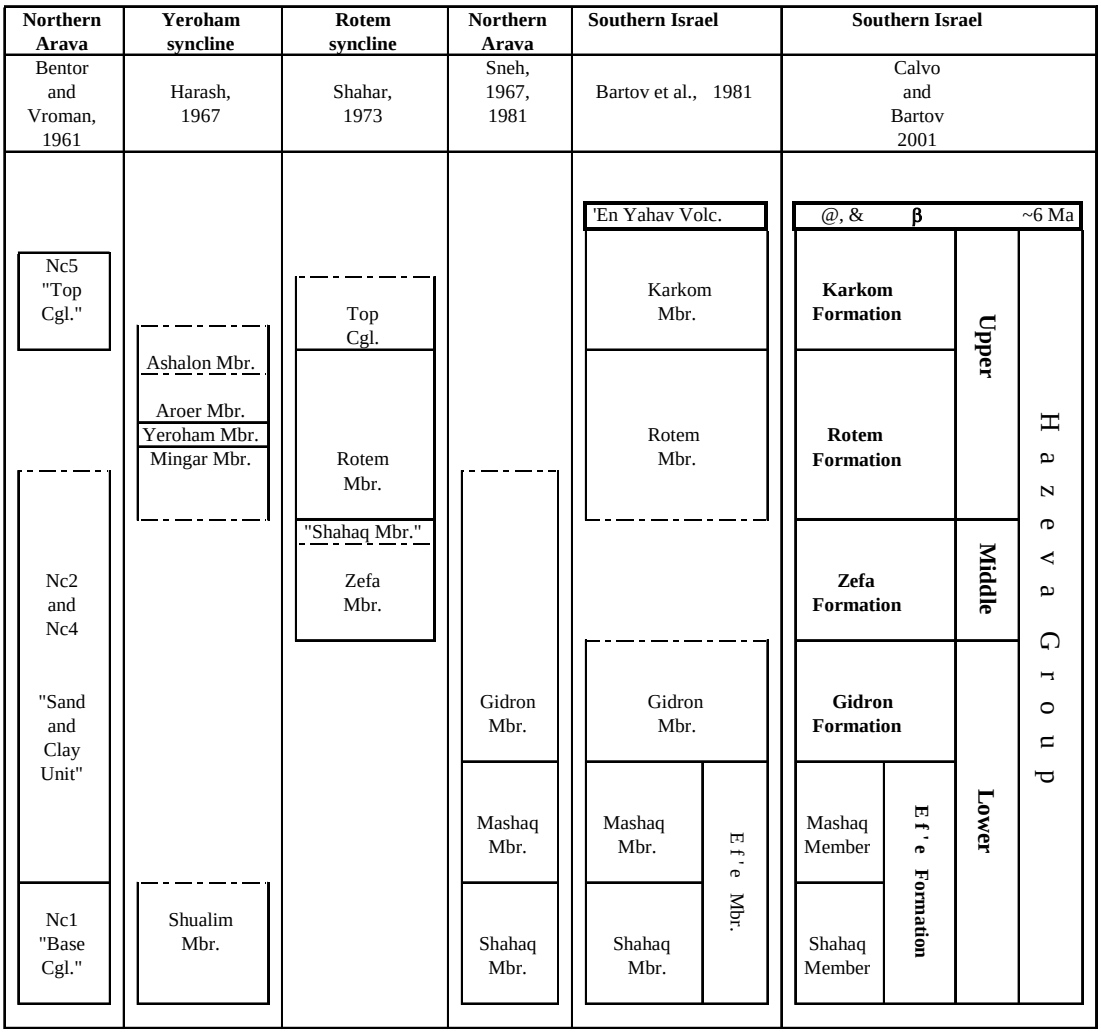
איור 3: יחסי שדה סכמטיים בין התצורות הבונות את חבורת חצבה והיחידות העתיקות להן. הערכים המספריים מתייחסים לעובי במחשופים בערבה ובאגן כרכום.

<u>תצורת גדרון</u>

תצורת גדרון מוכרת בערבה ובאגן כרכום, ואינה חשופה באזור הסיור. ניתוח תת הקרקע באמצעות סקר גיאופיזי משולב (גיאו-חשמל וסייסמיקה) שנעשה בתחום מישור ימין (ברונר ואחרים, 1999; ויינר ואחרים, 1999) לא הציג הבחנה ברורה בדבר הימצאותה בתת הקרקע (ראה הרחבה בהמשך).

<u>תצורת צפע</u>

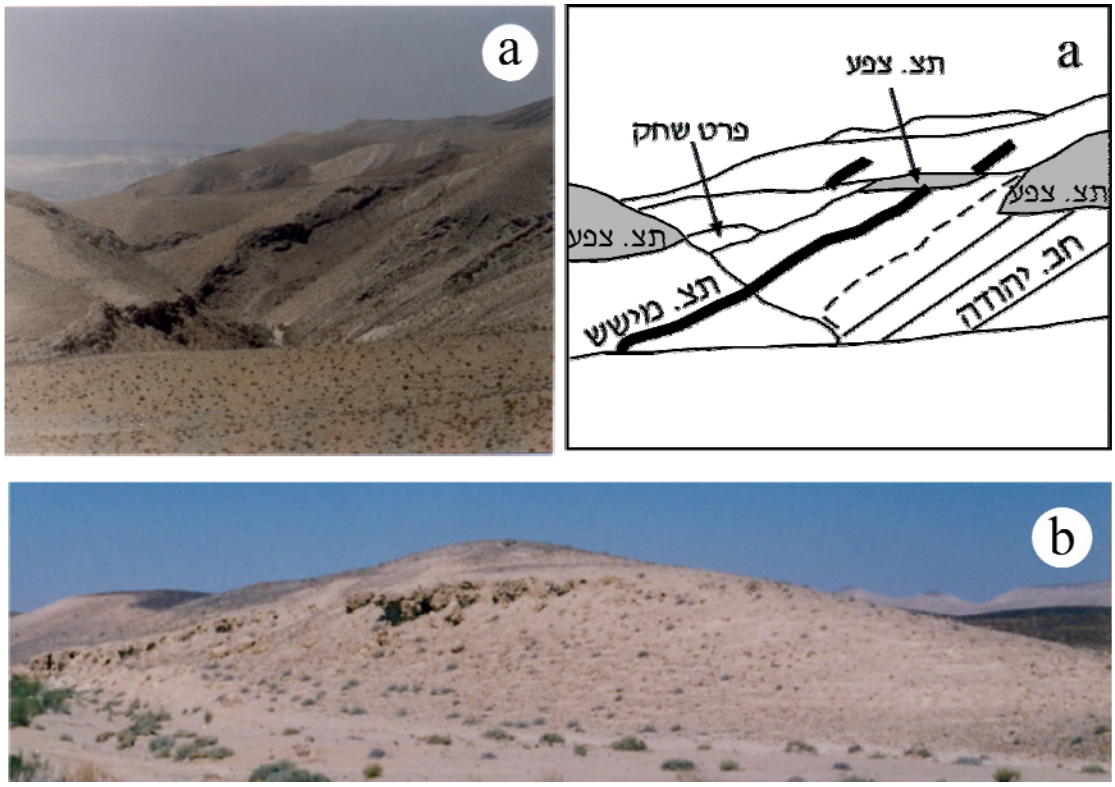
תצורת צפע חשופה במספר אתרים באגן. הקונגלומרט שבבסיסה יוצר מצוקים לאורך נחל ממשית (איור 5a), בעוד שחלקי החתך העליונים יותר (חרסיות, חולות ויחידה קרבונטית) חשופים היטב בבקעה שבנ.צ. 206/544. בקונגלומרט של תצורת צפע שבקרבת מוצא המכתש הגדול מופיעים חלוקים רבים (עד 50% מהמרכיבים) שמוצאם בסלעי חבורת כורנוב (קרטיקון תחתון) וחבורת ערד (יורא) (איור 8a), המציגים את ניקוז המכתש הגדול אל עבר אגן ימין - רותם. בתוך המכתש הגדול מצוי חתך של קונגלומרט הבסיס של תצורת צפע המונח על גבי חבורת כורנוב והמכיל חלוקים מגיל של חבורת ערד, כשבסיסו ברום טופוגרפי הגבוה ב-30 מטרים מעל קרקעית המכתש הנוכחית. תצפית זו מהווה עדות לקיומו של מכתש בסדר גודל דומה לשל המכתש הנוכחי כבר בתחילת השקעתה של תצורת צפע.



Remarks on the relationship with dated igneous rocks:
@ - Basalt flows from Ash Showbak area, ~6 Ma, Steinitz and Bartov (1991).
& - 'En Yahav dike, ~6 Ma, Steinitz et al. (2000).

איור 4: טבלת קורלציה רגיונלית ליחידות חבורת חצבה.

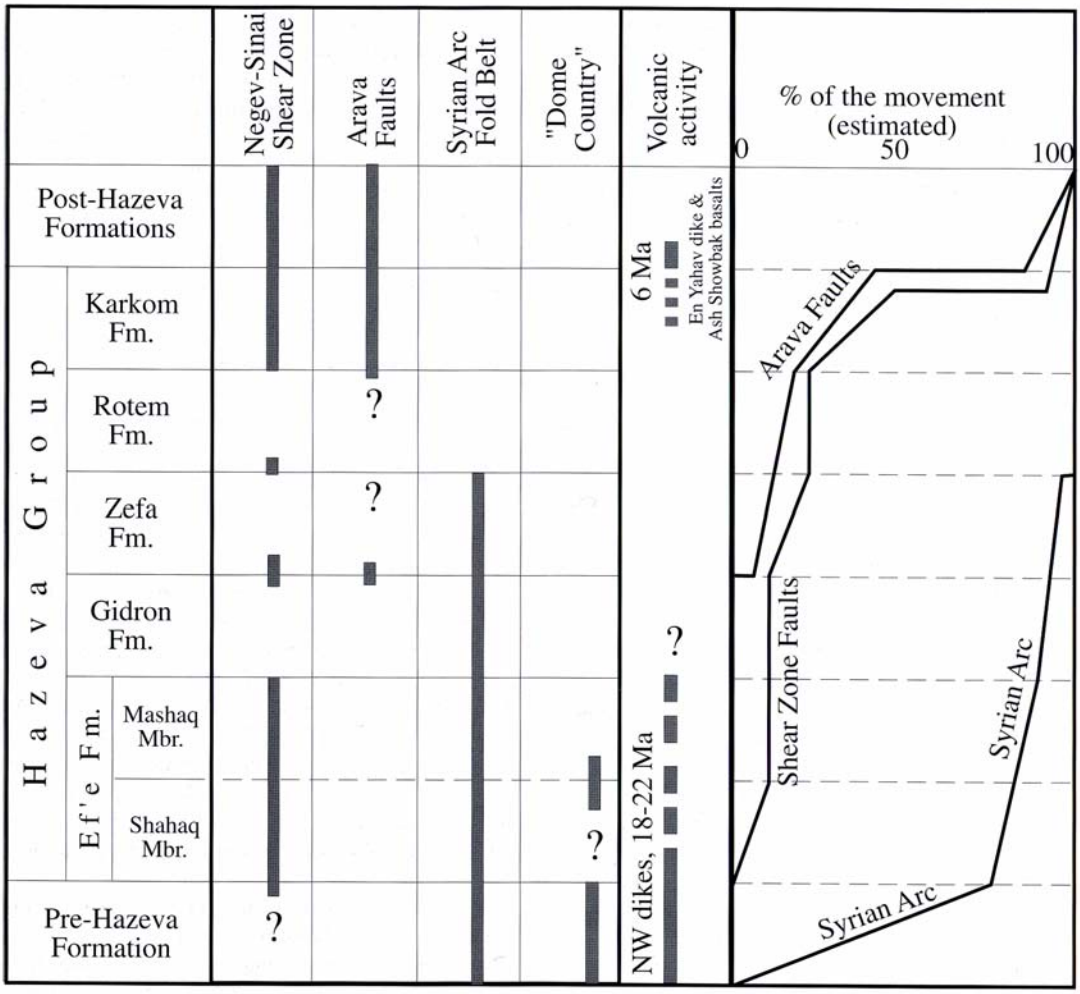
לטבלה המלאה - ראה אצל Calvo and Bartov (2001).



איור 5 : ***(a) נחל ממשית, שולי קמר חתירה. פרט שחק נטוי מזרחה, בעוד שתצורת צפע אופקית מעל לאי התאמה אירוזיבית וזוויתית גדולה; (b) שכבות גיר וחוואר פרט משק בהתאמה על קונגלומרט פרט שחק בנחל חברבר. קונגלומרט של תצורת כרכום באי התאמה אירוזיבית וזוויתית על גבי תצורת אפעה.***

מחשופים רבים של תצורת צפע (קונגלומרטים) חודרים במפרצים לתוך המבנה של קמר חתירה, ומונחים בתנוחה הקרובה לאופקית מעל לשכבות נטויות של תצורת אפעה (איור 5a), דבר הרומז על הפסקה כמעט מוחלטת של הקימוט מאז השקעת תצורת צפע (איור 6).

בחלקים הצפוניים של אגן רותם מוכרים מספר מחשופים של תצורת צפע, אך מרביתם נהרסו במסגרת עבודות החציבה במפעלי הפוספטים. המחשופים מכילים בבסיסם חלוקי "צור יבוא" והם מונחים באי התאמה זוויתית ואירוזיבית על גבי סלעים מתצורת ע'רב ותצורת מישש. מעל לשכבות הקונגלומרט מצויות שכבות חוליות אדומות ושכבה קרבונטית מסיבית. מחשוף נרחב של תצורת צפע השתמר בסמוך לציר הקער של אגן רותם (תחנה 4). התצורה מונחת גם באי התאמה אירוזיבית על שכבות פוספוריט וצור מתצורת מישש (איור 8b). Shahar (1973) טען, על סמך מחשופים אלו, כי תצורת צפע מצויה בבסיס החבורה ומייצגת פאזה הקדומה לפאזת חבורת חצבה ה"רגילה" ואף קבע לה גיל אוליגוקני (הירש ושחר, 1993). קלבו (2000) ו-Calvo and Bartov (2001) זיהו את המשך החשיפה, וכן מחשופים נוספים של תצורת צפע באגן רותם. התצורה מונחת ברוב המקומות באי התאמה על גבי יחידות עתיקות, ובמקומות היא מצויה ברום טופוגרפי הנמוך מזה של בסיס החבורה (איור 3), אך מיקומה הסטרטיגרפי גבוה יותר, מעל לתצורת אפעה, ובמקומות בהם מצויה תצורת גדרון, גם מעליה.



איור 6: ***שלבי התרחשות ויחסי עוצמה של האירועים הטקטוניים בדרום ישראל ויחסם ליחידות חבורת חצבה.***

מן ההבדלים ברום הטופוגרפי שבין תצורת אפעה ותצורת צפע בשולי קמר חצרה (מכתש קטן) אנו למדים כי גם בקמר חצרה חל קימוט פוסט-אפעה ופרה-צפע. המפער המערבי של המכתש הקטן נוצר בשלב אירוזבי שלווה את שלב ההרמה הטקטונית. יש להדגיש כי בשלב זה המכתש הקטן עדיין לא עוצב בצורת מכתש אירוזבי (תצורת צפע, שאינה מכילה מרכיבים שניתן להצביע על מקורם מתוך המכתש הקטן, מייצגת זרימה במפלס גבוה מעליו).

<u>תצורת רותם</u>

תצורת רותם חשופה על פני האגן כולו ועיקרה אבני חול וחרסית. לאורך הכביש לאורון נראה בסיסה, כשהוא מונח באי התאמה זוויתית על גבי תצורת צפע (איור 7a) ועיקרה אבני חול וחרסיות. אבני החול שבבסיס תצורת רותם באזור זה מראים תופעות של שכוב צולב (איור 7b), נבירות וכן שרידי צמחיה שעברו ברזול (איור 7c) והופעה של כדורי חול בסטרוקטורות "דמויות אלמוגים" (איור 7d). החלקים הגבוהים יותר של תצורת רותם מכילים שכבות חול וקונגלומרט של חלוקי "צור יבוא". שירב ואחרים (1997) שרטטו מפת עובי לחתך החולי בחבורת חצבה בקער רותם על בסיס קידוחים וקבעו כי העובי המכסימלי שם עומד על כ-180 מטרים.

באגן ימין-רותם מצאו Savage and Tchernov (1968) מאובני יונקים מגיל Burdigalian (מיוקן תחתון). לימוד מדוקדק של אתרים אלה מראה כי הם מצויים בבסיס תצורת רותם (ראה תחנות 1, 8 בסיור). מאובנים של דגים נמצאו במרכז אגן ימין בתוך חלק נמוך בתצורת רותם במהלך עבודות בניה (אין מידע מדויק לגבי מיקום הממצאים בחתך הסטרטיגרפי). מאובני דגים של האוקיאנוס ההודי נמצאו על ידי נ. גולדשמיט (בע"פ) בסמוך לצומת רותם, במיקום סטרטיגרפי הקרוב לבסיס תצורת רותם.

<u>תצורת כרכום</u>

תצורת כרכום מופיעה באגן ימין-רותם בעיקר מצפון לכביש דימונה-סדום. היא מיוצגת על ידי שכבות הקונגלומרט שכונו באגן זה "קונגלומרט הגג" (בן-תור ופרומן, 1961). תצורת כרכום מונחת באי התאמה זוויתית על גבי יחידות עתיקות לה (איור 3). מספר מחשופים קטנים, על גבי סלעי חבורת יהודה במורדות של קמר אפעה-זוהר, יוצרים שורה של מדרגות המטפסות צפונה מרום טופוגרפי של 400 מטרים ועד לרום של 630 מטרים (מעל פני הים) באזור ערד. פרוינד וזק (1973) הציעו שכל המחשופים הללו מייצגים את אותה שכבה סטרטיגרפית, וההפרש ברום הטופוגרפי ביניהם מעיד על המשך הקימוט של רכס אפעה-זוהר לאחר השקעת החתך. אנו מציעים כי מאחר שעובי תצורת כרכום יכול להגיע ליותר מ-450 מטרים (בערבה ובגרבן כרכום שבמרכז הנגב), עשויים מחשופים אלו להשתייך לחלקי חתך שונים של תצורת כרכום, הנמצאים, כל אחד בנפרד, במגע של onlap על גבי המבנה המורם של הרכס.

כל מחשופי חבורת חצבה מצויים כיום ברום טופוגרפי שהוא נמוך מהרום הטופוגרפי של שיאי הקמרים בכ-100 מטרים. ערן (1982) טען כי חבורת חצבה מילאה את כל קער אורון-אפעה עד לקו הרכס הנוכחי של קמר חצרה, ויתכן אף מעליו. הפרש הגובה הטופוגרפי של בסיס תצורת צפע שבין מישור ימין לאגן דימונה-ירוחם (מרחק של כ-12 ק"מ) עומד על 120-150 מטרים, והוא נוצר לאחר ההטיה של האזור כולו בנטייה של 0.5-1 מעלות מזרחה (ערן, 1982). ההפרש הטופוגרפי שבין מישור ימין לפתחת יכליה שבערבה (מרחק 25 ק"מ) מחייב תנועה טקטונית של השתפלות אזור הערבה ב-600 מטרים מאז השקעת חבורת חצבה. השתפלות זו מוסברת על ידי הטיית האגף המזרחי של האנטיקלינוריום של הנגב הצפוני בכ-1.5 מעלות מזרחה, או בהמשך קימוט קמר חצרה וקמר מחמל (ערן, 1982).

בסקרים גיאופיזיים מפורטים בתחומי קער ימין (רפלקציה סייסמית, רפרקציה סייסמית, TDEM ופענוח מחודש של ממצאי הקידוחים) הראו ויינר ואחרים (1999) וברונר ואחרים (1999), את השתרעותן של היחידות הסטרטיגרפיות של חבורת חצבה גם במרכז הקער (איור 9). בסקרים אלה הותווה מיקום בסיס החבורה, בסיס תצורת צפע ובסיס תצורת רותם (בסיס החול העיקרי) ומוצגת אי ההתאמה של בסיס תצורת צפע הגודעת בשולי האגן לעומק היחידות העתיקות, במערכת של תעלות הפונות כלפי צפון-מערב, אל עבר מפער דימונה. העובי המכסימלי שנמצא לחבורת חצבה בקידוח Y-1 (איור 10) במרכז קער ימין הוא 144 מ', אולם מן החתכים הסיסמיים נראה כי הוא עשוי להגיע לכ-160 מ'.

איור 7: ***(a) אי התאמה בין תצורת צפע לתצורת רותם בקער ימין; (b) אבני חול גסות גרגר עם שיכוב צולב בבסיס תצורת רותם; (c) גזע עץ מבורזל בבסיס תצורת רותם בקער ימין; (d) בלייה אופיינית של אבני החול בבסיס תצורת רותם.***

איור 8: ***(a) חלוקי גיר יוראסיים ממכתש גדול בקונגלומרט תצורת צפע בקער ימין;***
(b) קונגלומרט עם חלוקי "צור יבוא" בבסיס תצורת צפע בנחל אפעה, מונח על תצורת מישש.

2.2 אגן דימונה - ירוחם

חבורת חצבה באגן דימונה-ירוחם תוארה על ידי חרש (1967), ומופתה בקנ"מ 1:50,000 (גיליון דימונה) על ידי רודד (1996). חרש (1967) חילק את החתך החשוף באגן דימונה-ירוחם לחמישה

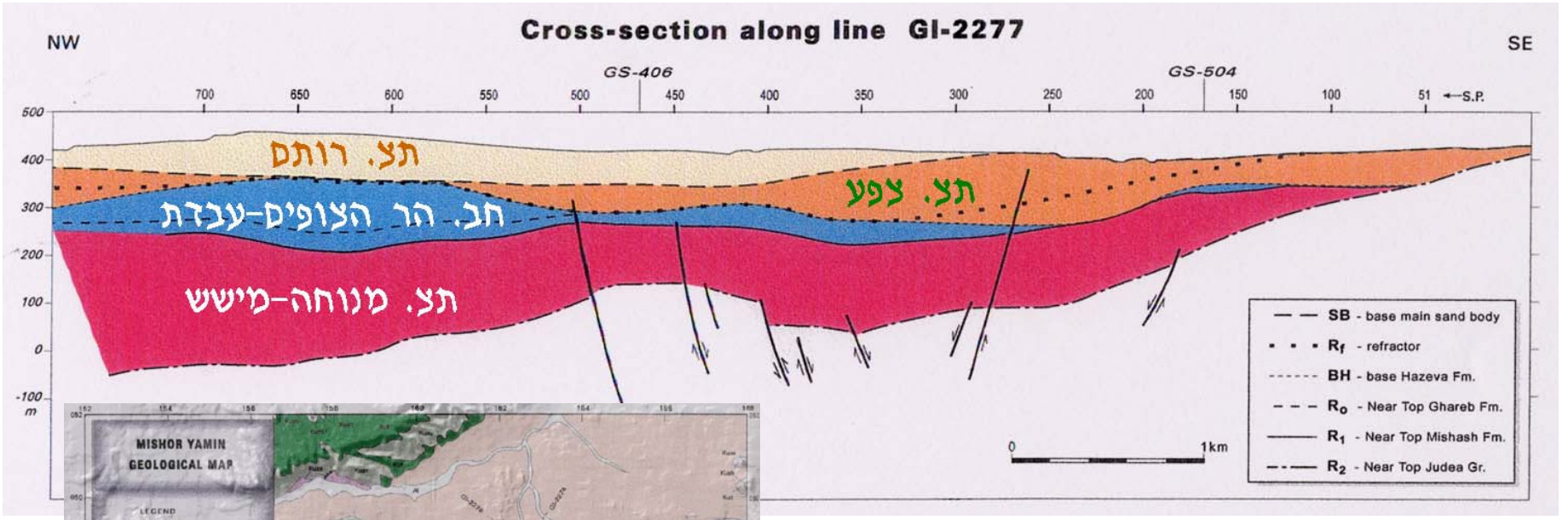
פרטים: פרט שועלים, פרט מינגר, פרט ירוחם, פרט ערוער ופרט אשלון. בשולי האגן הוגדר על ידו פציאס שוליים המקביל בגילו לפרטים שועלים ומינגר (איורים 2, 4).

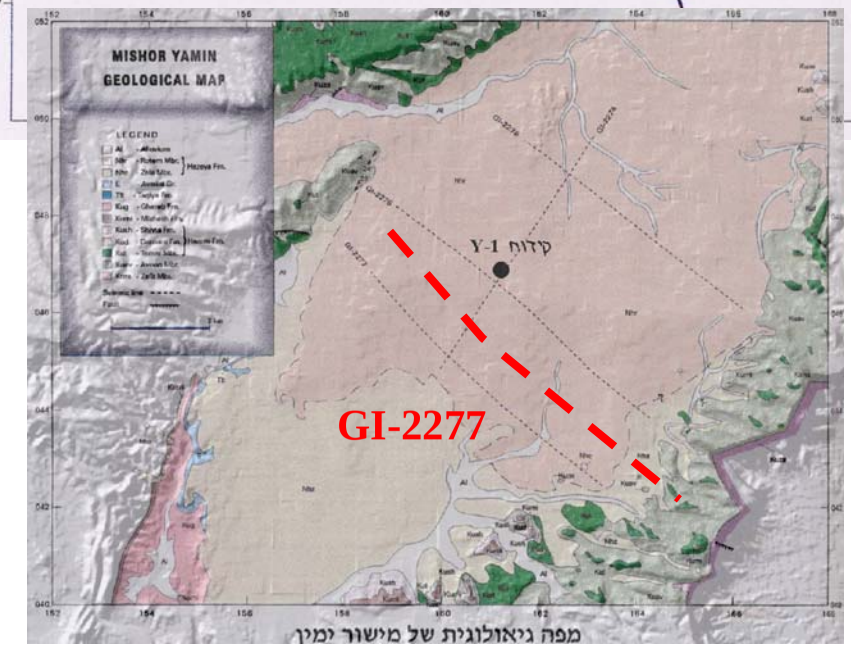
החלוקה הנוכחית של חבורת חצבה מאפשרת לזהות באגן דימונה-ירוחם חלק מהיחידות. תצורת אפעה מצויה בשולי האגן, על גבי מורדות הקמרים, וכן מרפדת את בסיס האגן, במקומות בהן החשיפה עמוקה. רוב המחשופים ששויכו על ידי חרש (1967) לפרט שועלים זוהו כחלקים של תצורת אפעה. תצורת גדרון אינה מוכרת כאן, ונראה שלא שקעה או שלא השתמרה באגן. תצורת צפע מוכרת מתחת לבסיס תצורת רותם במפער דימונה ובאזור באר אשלון, אך אינה חשופה ברחבי האגן. תצורת רותם, המכילה יחידות חרסיתיות-חוליות, חולות צהובים גסי גרגר וחלוקי "צור יבוא" ושכבה קרבונטית, זוהתה על פני האגן כולו, מבאר אשלון בצפון ועד דרומה לירוחם. הפרטים מינגר, ירוחם וערוער (חרש, 1967) משתייכים לרצף השכבות של תצורת רותם (איור 4). השכבה הקרבונטית של תצורת רותם באגן זה בנויה גיר חולי מסיבי, ובמקומות מופיעות עדשות של אוסטריאות *Crassostrea gingensis* (*Schlott*) (חרש, 1967) בהופעת גידול מקורית של מבנה הביוהרם (איור 11a). האוסטריאות עברו במקומות ברזול הדומה לזה המצוי בבסיס התצורה. במקומות מופיעות שכבות עם גלונים, עדות לתנאים של קו חוף בזמן ההשקעה. המחשוף הדרומי ביותר, בנ.צ.מ. 1940/5450, מכיל שרידים מבורזלים רבים, כולל עצים ונבירות, וכן "סטרוקטורות של אלמוגים" באבני החול.

חרש (1967) מדד כיווני זרימה בסטרוקטורות סדימנטריות ביחידות סטרטיגרפיות שונות, ומצא כי כיוון הזרימה באגן, בכל תקופת השקעת החבורה, היה לדרום-מערב, כנראה לעבר פיתחת נחל הבשור, כך שמפער ערוער לא שימש כמוצא לאגן בתקופת החצבה.

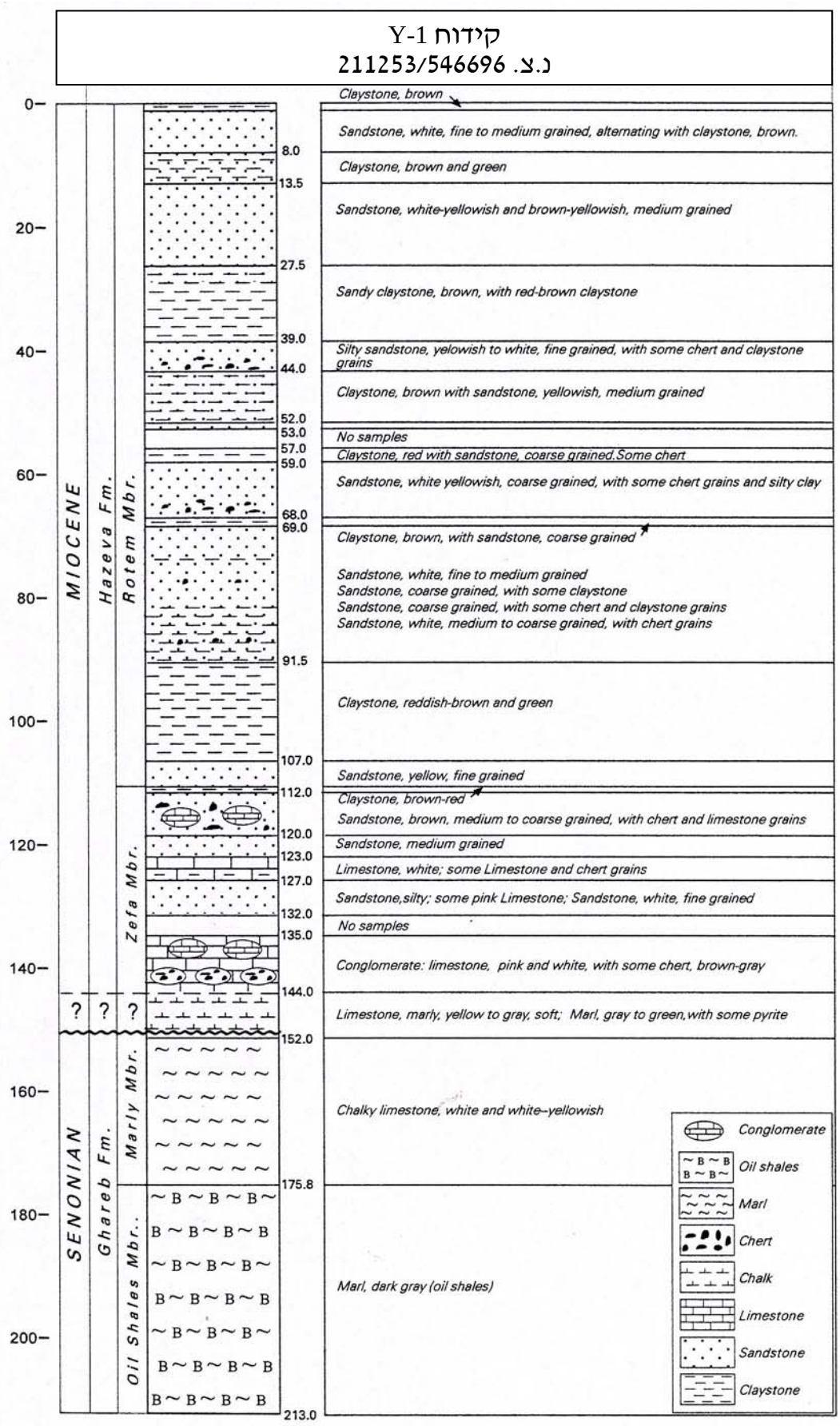
שכבת מאובני היונקים (Savage and Tchernov, 1968) מצויה כ-10 מטרים מתחת לשכבת האוסטריאות. מאסף זה (איור 11b) מייצג תקופה של גשר יבשתי בין אירו-אסיה ואפריקה (Goldsmith et al., 1988).

על פי ז.לוי, מאובנים מבורזלים של Terebralia Potamidea; Cerithiacea נמצאו בסמוך לבסיס תצורת רותם. אלו מייצגים פאונה של ים הטתיס בשלבים שבהם האוקיאנוס ההודי היה מחובר עדיין לים התיכון. תצורת כרכום, המקבילה כאן לפרט אשלון של חרש (1967), מופיעה בעיקר בצפון האגן, ומכילה קונגלומרטים שבהם חלוקי "צור יבוא" אינם המרכיב הבלעדי. מחשוף בודד המצוי בסמוך לירוחם מתעד את השתרעות היחידה על פני כל האגן.

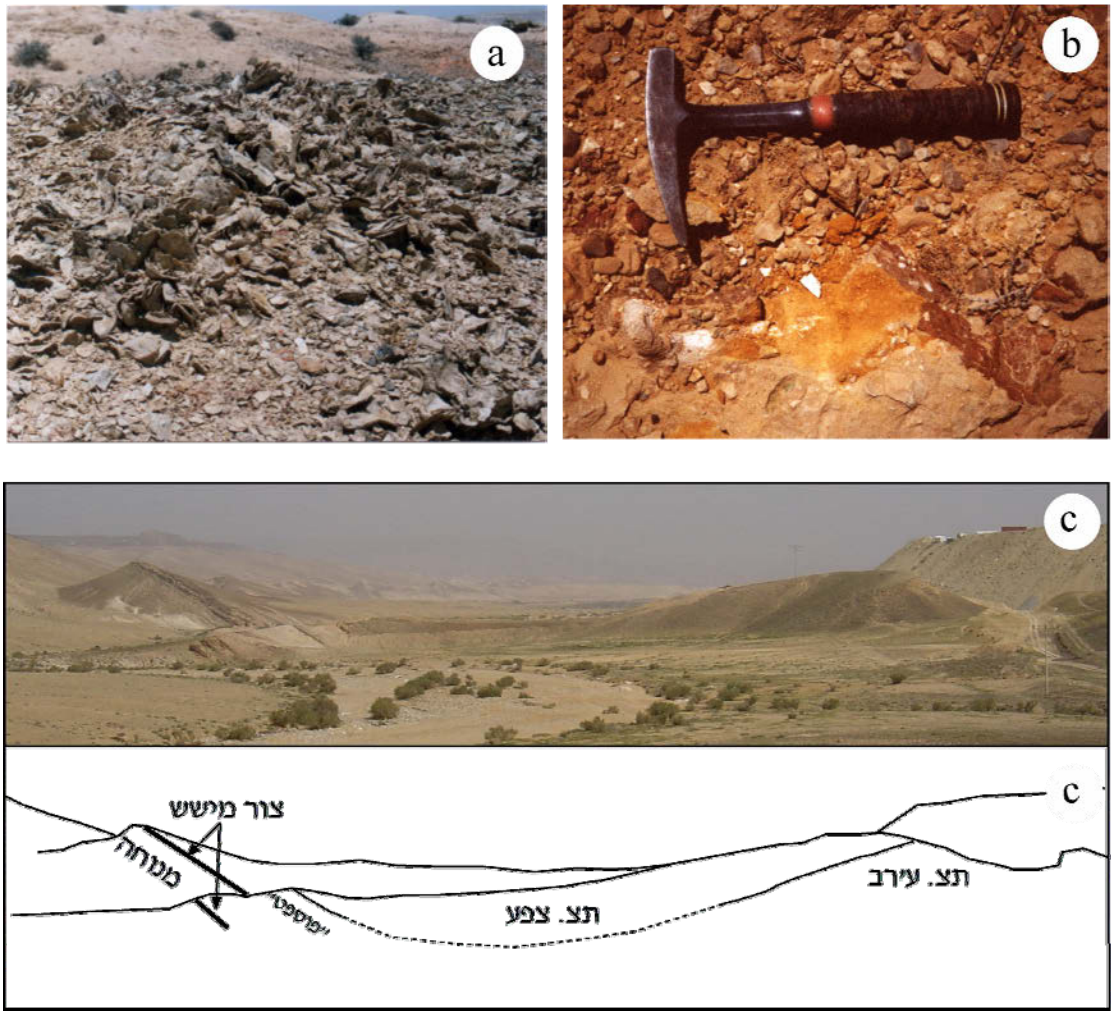




איור 9: (a) חתך רוחב גיאולוגי לאורך הקו הסייסמי GI-2277 בקער ימין. המסמנים הסטרטיגרפיים – לפי הפענוח הגיאופיזי; (b) מפה גיאולוגית מפורטת של קער ימין ותיחום הקווים הסייסמיים (מתוך ברונר ואחרים, 1999).



איור 10: *חתך עמודי בקידוח Y-1 בקער ימין (מתוך ברונר ואחרים, 1999).*



איור 11: ***(a) אוסטריאות בתצורת רותם בקער דימונה-ירוחם; (b) עצם מאובנת של יונק בתצורת רותם בקער דימונה-ירוחם; (c) תצורת צפע באי התאמה אירוזיבית וזוויתית על תצורות מישש וע'רב בקער רותם.***

3. סיכום ההיסטוריה הגיאולוגית

נסיגת הים האיאוקני-אוליגוקני בדרום ישראל גרמה לחשיפתם של מישורים נרחבים בהם התשתית בנויה סלעים של חבורת עבדת (למשל רמת עבדת), ואזורים רבים בהם נחשפו סלעים עתיקים יותר, בעיקר בצפון הנגב, במרכזם של קמרי ה"קשת הסורית".

הארוזיה היבשתית פגעה בסלעים שנחשפו, ותוצרי הבלייה הובלו והושקעו במרחקי הובלה קצרים יחסית. הסדימנטים של פאזה זו מלאו את התבליט הטופוגרפי המתון יחסית. הסדימנטים ששקעו היו בעיקר קונגלומרט פולימיקטי גס גרגר, שחלוקיו המזוותים היו של גיר וצור ממקור מקומי והמכונה פרט שחק (חלק תחתון של תצורת אפעה). פרט זה מופיע במרחב בעובי של עד 20 מטרים, והוא מצוי באי התאמה אירוזיבית, ובדרך כלל בהתאמה זוויתית על סלעים איאוקניים בקערים, ו/או באי התאמה זוויתית על גבי סלעים עתיקים יותר, בשולי קמרי ה"קשת הסורית".

מיד עם סיום השקעת פרט שחק, ויתכן אף תוך כדי שקיעתו, החלו להצטבר סדימנטים קרבונטיים אגמיים. אלו הושקעו מגוף מים (אגם) שהיה רדוד, אך השתרע ברציפות על פני שטחים נרחבים של דרום ישראל. פאזה אגמית זו מכונה פרט משק (חלק עליון של תצורת אפעה). פרט זה מופיע במרחב בעובי של עד 25 מטרים והוא מצוי בהתאמה על גבי פרט שחק, הקדום לו.

סיום תקופת השקעת פרט משק לווה במעבר חד יחסית מסדימנטים קרבונטיים אגמיים לסדימנטים קלסטיים דקי גרגר (אבן חול, סילט וחרסית) שהצטברו במערכות נחלים באנרגיות נמוכות. פאזה קלסטית זו מכונה תצורת גדרון. הסדימנטים מתצורת גדרון הובלו מרחוק, אך עדיין לא מופיעים בה חלוקי "צור יבוא" הנפוצים במעלה החתך, והמציינים אנרגיות זרימה גדולות יותר. תצורת גדרון אינה חשופה באגנים של הנגב הצפוני, אך היא מוכרת היטב בשאר המרחב, ומיקומה הסטרטיגרפי ברור.

לאחר השקעת תצורת גדרון ארעה פעילות טקטונית נרחבת הכוללת את המשך קימוט רכסי ה"קשת הסורית". בעקבותיה החלו תהליכי ארוזיה נרחבים, אשר הביאו בחלק מהאזורים לגדיעה מסיבית של חלקי החתך העתיקים של החבורה, עד כדי הסרתה המוחלטת, וכן לארוזיה של היחידות העתיקות יותר. פני השטח של השלב הארוזיבי כללו אזורים בהם נוצרו ערוצים עמוקים, שחדרו עד לחתך העתיק לחבורת חצבה. הארוזיה גדעה בשלב זה במקומות למעלה מ-150 מטרים (עובי החלק העתיק של החבורה). בראשי הקמרים, שם מודגשת אי ההתאמה, היא העמיקה לפחות 65 מטרים מתחת לבסיס החבורה. בקמר חתירה התרחשה בשלב זה ארוזיה נרחבת אשר יצרה את המכתש הגדול במימדים הקרובים לזה הנוכחי. תוצרי הארוזיה של המכתש הגדול הובלו אל מחוצה לו מזרחה וצפונה דרך קער ימין-אפעה. תהליך הקימוט של קמר חתירה הסתיים עם תחילת השקעת תצורת צפע. משקעים מתצורת צפע מצויים מחוץ למבנה הקמר (במישור ימין) וכן בתוכו (מכתש גדול) כשהם בתנוחה הקרובה לאופקית, המעידה על הפסקת הקימוט. בקמר חצרה יצרה מערכת התעלות את המפער המערבי של המכתש הקטן, אך המכתש עצמו לא עוצב עדיין כמבנה ארוזיבי.

על גבי אי ההתאמה החלו להצטבר סדימנטים קלסטיים שהובלו מרחוק, כולל חלוקי "צור יבוא" וכן סדימנטים שהיוו מחזור של חלקי חתך עתיק שעבר ארוזיה. הימצאותם של חלוקי "צור יבוא" בבסיס תצורת צפע מחייבת את הימצאותם המוקדמת של חלוקים אלו בחתך המקביל לתצורת גדרון, אשר אינו מכיל חלוקים אלו בחתכים המוכרים בארץ ובירדן, אך יתכן כי מזרחה משם הצטברו סדימנטים גסים (עם חלוקי "צור יבוא") בזמן הרבדת הסדימנטים הדקים של תצורת גדרון באזורנו. בהמשך הצטברות פאזה זו התקיימו תקופות בהן תנאי הטופוגרפיה והאקלים אפשרו קיומו של אגם מים נרחב שבו הורבדו שכבות קרבונטיות, בדומה לזה שנוצר בתקופת פרט משק, אם כי בקנה מידה קטן בהרבה ולפרקי זמן קצרים יותר (לפי עובי הסדימנטים שנוצרו). היחידה הקרבונטית משנה את הופעתה מגיר מסיבי דרך גיר תרכיזים (אונקוליטים) ועד לחוואר קשה. פאזה קלסטית-קרבונטית זו, שבאה בתגובה לפעילות הטקטונית הנרחבת, מכונה תצורת צפע. תצורת זו מגיעה במקומות, בעיקר במערכות ערוצים, לעובי של עד 150 מטרים (איור 3).

עם סיום השקעת תצורת צפע חלו תהליכי ארוזיה קלים אשר יצרו פני שטח ללא הפרשים טופוגרפיים גדולים. על פני משטח אי התאמה זה החלו להצטבר סדימנטים קלסטיים גסים (אבן חול גסת גרגר וקונגלומרט). למעט בבסיס החתך, בו מצויים גם חלוקים ממקור מקומי, לאורך כל החתך העבה שהצטבר בשלב זה החלוקים הם חלוקי "צור יבוא", המעידים על מקור רחוק שהובל לאזורנו במערכות נחלים שחצו את האזור. פאזה קלסטית עבה זו מכונה תצורת רותם. תצורת רותם הושקעה על פני כל המרחב בעובי של כמה מאות מטרים, ועובייה המרבי שהשתמר עולה על 1100 מטרים (בערבה ובגרבן כרכום, איור 2). התצורה מאפיינת תקופה בה הסדימנטציה הנחלית שינתה את אופייה ואת אנרגיית הזרימה שלה באופן מחזורי. כתוצאה משינויים אלו הצטברו מחזורים סדימנטריים רבים הכוללים קונגלומרט - חול גס

- חול דק - סילט - חרסית. בבסיס תצורת רותם מצויות אבני חול מלוכדות היטב בעלות סגנון בלייה "דמוי אלמוגים" (אבן חול העוברת בלייה ליצירת תרכיזים כדוריים) וכן הופעה של שרידי צמחים ומילוי נבירות שעברו ברזול. בצפון הנגב מופיעה שכבה של גריט ובה מאובני יונקים, ומעליה שכבות ובהם עדויות לתנאים אסטואריים וקירבה לחוף הים (מציאות אוסטריאות ומבנים של גלונים), כנראה כתוצאה מחדירה ימית שהתרחשה בשלב זה, ושקו החוף שלה היה באזור דימונה-ירוחם. הימצאותם של מאובנים מהאוקיאנוס ההודי בחתך של תצורת רותם, מחייבת קיומו של קשר ימי בין האוקיאנוס ההודי ואזור הים התיכון, בניגוד לתקופות בהם התקיים גשר יבשתי בין אפריקה ואירו-אסיה.גשר זה התקיים ב-Burdigalian העליון ואפשר מעבר של פילים ויונקים אחרים מאפריקה לאירו-אסיה. לאחר מכן נפתח שוב המעבר הימי והחלה החדירה הימית שבעקבותיה הצטברו עדשות האוסטריאות.

בערבה ובגרבן כרכום המעבר מתצורת רותם לתצורת כרכום שמעליה הנו הדרגתי ואינו מציין הפסקה בהשקעה וארוזיה (איור 2b) בעוד שבאגנים של הנגב הצפוני מצויה אי התאמה גדולה בבסיס תצורת כרכום. בתצורת כרכום הסדימנטים מציינים סביבות השקעה אנרגטיות יותר ומקור המרכיבים הדטריטיים מגוון יותר (המרכיב המקומי מגיע עד 50% מהחלקיקים).

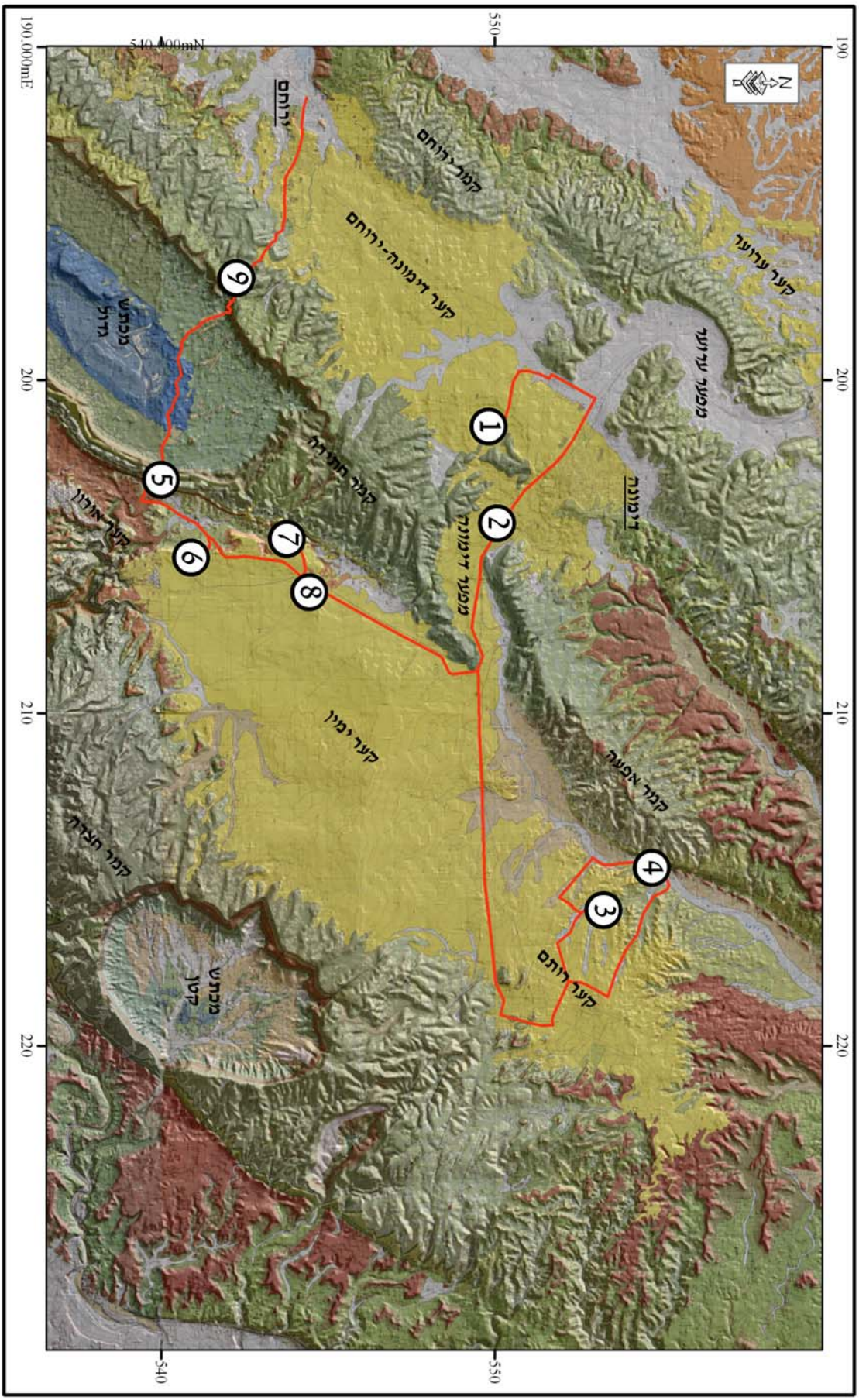
4. תחנות הסיור (איור 12)

תחנה 1 : מאובני אוסטריאות ויונקים בבקעת ירוחם - גיל ויחסי ים-יבשה (נ.צ. 201230/549790)

<u>הגעה לתחנה.</u> כ-1 ק"מ מדרום לצומת דימונה על כביש דימונה ירוחם, כניסה מזרחה למטעי צבר, ומעבר קו המתח הגבוה. ירידה בערוץ נחל ממשית.

<u>מטרות.</u> הכרת החתך הסטרטיגרפי בבקעת ירוחם-דימונה והממצאים הפליאונטולוגיים שבו. דיון בגיל החתך והפליאוגיאוגרפיה המוצגת על ידו.

<u>תאור התחנה.</u> באתר מצוי מחשוף של אוסטריאות (*Crassostrea gingensis* (*Schlott*) (חרש, 1967) בהופעת גידול מקורית של מבנה הביוהרם (איור 11a) ותחתיו שכבה של גריט, המכילה עצמות יונקים (איור 11b). השכבות המוצגות מצויות בחתך תצורת רותם ("פרט מינגר-ירוחם"). מאובני היונקים מיצגים מאסף מגיל Burdigalian (מיוקן תחתון) (Savage and Tchernov, 1968). Goldsmith et al. (1988) השוו בין מאסף זה למאסף המצוי במזרח אפריקה שגילו הכרונולוגי (K-Ar) הוא 17-17.5 מ"ש. לאחרונה עודכן גיל המאסף שם ל 17-18 מ"ש (Miller and Simons, 1996). אופק האוסטריאות מציין הצפה ימית, המקובלת על דעת רוב החוקרים כמקבילה להצפה הימית של תצורת ציקלג (מיוקן תיכון, 16-15 מ"ש).



(חניה מדרום לכביש).

מטרות. הכרת המעבר בין בקעת ירוחם-דימונה ומישור ימין-רותם. מפערים החוצים את קמר חתירה. דיון לגבי גיל ופליאוגיאוגרפיה.

תאור התחנה. תצפית על חתך חבורת חצבה בשולי בקעת דימונה, ומבט צפונה לעבר באר אשלון, ממזרח לעיר דימונה, שם מונח חתך של תצורות צפע ורותם על גבי חבורות יהודה והר הצופים ב-onlap. מבט מזרחה לעבר מפערי ממשית ודימונה. דיון על גיל המפערים והחתכים הסדימנטריים המצויים בהם ומשמעותם הפליאוגיאוגרפית. מפער ממשית המצוי ברום טופוגרפי גבוה יותר ממפער דימונה מייצג ארוזיה של השלבים המוקדמים יותר של החבורה (פרט שחק), בעוד שמפער דימונה, המלא בסדימנטים מתצורת צפע ורותם, מציין שלב אירוזיבי מגיל פרה-צפע.

תחנה מספר 3 : נחל חברבר - יחסי שדה בין חבורת חצבה ומבני הקמרים (נ.צ. 215836/553200)

הגעה לתחנה. מהכניסה למפעלי "פריקלס" במישור רותם, המשך נסיעה מערבה במורד נחל חברבר (כ-2.5 ק"מ).

מטרות. הכרת חתך חבורת חצבה בצפון קער רותם. יחסי השדה שבין היחידות ויחסם להתפתחות הקשת הסורית.

תאור התחנה. הפרטים שחק ומשק, המונחים על תצורת ע'רב, נטויים מתונות לדרום-מערב, כלפי הציר של קער רותם (איור 5b). קונגלומרט תצורת כרכום ("קונגלומרט הגג") מונח באי התאמה אירוזיבית וזוויתית על גבי תצורת אפעה וכן ישירות על תצורת ע'רב (מצפון-מזרח לתחנה). פרט שחק עשוי חלוקים גדולים של גיר וצור ממקור מקומי, המלוכד על ידי קרבונט הבונה גם את השכבות הנמוכות בפרט משק. פרט משק מכיל כאן מספר שכבות של חוואר וגיר. המשך החתך של חבורת חצבה גדוע כאן על ידי אי ההתאמה שבבסיס תצורת כרכום. אי התאמה זו "מסתירה" אי התאמות נוספות הידועות ברחבי האגן בין היחידות החסרות בחתך. תצורת כרכום עשויה קונגלומרט של "צור יבוא" וצור מקומי, ומציינת מחזור של שכבות החצבה וכן תרומה מקומית מהרכסים הקרובים. משיא הגבעה ניתן לצפות מערבה כלפי רכס אפעה-זוהר, שם מצויים מספר מחשופים של קונגלומרט תצורת כרכום במדרגות המטפסות מרום של כ-400 ועד לרום של 630 מטרים המציינים את המשך הקימוט (לפי פרוינד וזק, 1973) או על תנוחה מקורית של אופקים המונחים במגע onlap על גבי המבנה.

תחנה מספר 4 : נחל אפעה - תצורת צפע בציר הקער (נ.צ. 2146/5545)

הגעה לתחנה. חזרה מנחל חברבר אל ציר עמודי החשמל, נסיעה מערבה ירידה לנחל אפעה, ונסיעה במורד הנחל לאזור מחצבות הפוספטים.

מטרות. הכרת חתך תצורת צפע ויחסה למבנה הקער של רותם. תצורת כרכום ויחסה ליחידות העתיקות ולמבנה הטקטוני של קמר אפעה.

תאור התחנה. בתחנה זו שני מחשופים. הדרומי, בנ.צ. 214460/554190, שם מונחת תצורת צפע על גבי הפוספוריט שבחלקה העליון של תצורת מישש (איור 11c), באי התאמה זוויתית, כשמעליה מונחים חלוקים של תצורת כרכום.

במחשוף הצפוני, נ.צ. 214783/554782, תצורת צפע חשופה על כל יחידותיה (קונגלומרט בסיס עם חלוקי "צור יבוא", חתך חולי-חרסיתי ויחידה קרבונטית) כשהם באי התאמה אירוזיבית על גבי יחידות

פוספוריט וצור מתצורת מישש (איור 8b), וכן על תצורת ע'רב. ציר הקימוט פוסט תצורת צפע מצוי ממערב לציר הקימוט שקדם לו. במחצבת הפוספט נשתמר חתך מפורט, וחברת "רותם-אמפרט" שהפעילה את מחצבת הפוספט, הקפידה לשמור את המחשוף של תצורת צפע, בהיותו מחשוף יחיד המציג את יחסי השדה המיוחדים של התצורה.

תצורת כרכום מופיעה בסמוך כשהיא מונחת באי התאמה על תצורת ע'רב וכן על חבורת יהודה במעלה מבנה קמר זוהר.

תחנה מספר 5 : פיתחת המכתש הגדול - תצפית לעבר המכתש וקער אורון (נ.צ. 203012/539581)

הגעה לתחנה. ביציאה מהמכתש הגדול מזרחה עד לגשר פסי הרכבת לאורון.

מטרות. הכרת החתך של תצורת צפע בתוך ומחוץ למכתש הגדול ויחסה להתפתחות המבנה ושלבי הארוזיה של המכתש.

תאור התחנה. תצפית על גבעה 398 בתוך המכתש. בשיא הגבעה מצוי חתך קונגלומרט של בסיס תצורת צפע, המורבד על גבי יחידות מגיל קרטיקון תחתון (חבורת כורנוב). בקונגלומרט חלוקים מגוונים מגיל יורא-קרטיקון. הקונגלומרט מונח במפלס גבוה בכ-30 מטרים מהמפלס העכשווי, עדות לקיומו של מכתש בסדר גודל הדומה לנוכחי כבר במהלך השקעת תצורת צפע. מגשר הרכבת ניתן לצפות על גבעה 398 שבתוך המכתש וכן על החתך שבשולי נחל חתירה: הקונגלומרט מונח במפלס טופוגרפי זהה גם מחוץ למכתש. כיוון הזרימה המשוחזר היה מהמכתש החוצה על עבר קער ימין, ומשם דרך מפער דימונה מערבה.

תחנה מספר 6 : החלוקים בקונגלומרט צפע (נ.צ. 205325/539365)

הגעה לתחנה. בדרך למעלה עקרבים, לפני מעבר פסי הרכבת לאורון, נסיעה דרומה בדרך עפר עד למצוק מעל נחל ממשית.

מטרות. הכרת מאסף החלוקים בתצורת צפע בקער ימין.

תאור התחנה. בקונגלומרט הבסיס של תצורת צפע בקער ימין מצוי מאסף חלוקים שהובלו מתוך המכתש הגדול (גיר אלמוגים יוראסי ואבן חול מבורזלת מהקרטיקון התחתון, איור 8a), עדות לניקוז המכתש הגדול כלפי מזרח, לעבר קער ימין, כבר במהלך השקעת תצורת צפע.

תחנה מספר 7 : תצפית לנחל ממשית - יחסי שדה וגיל הקימוט (נ.צ. 205119/540745)

הגעה לתחנה. מכביש אורון בקרבת הצטלבותו עם פסי הרכבת, ירידה לדרך עפר מערבה עד למצוק מעל נחל ממשית.

מטרות. הכרת יחסי השדה שבין מבנה הקמר של חתירה (חשיפה של חבורות יהודה והר הצופים) ויחידות חבורת חצבה.

תאור התחנה. הפרטים שחק ומשק נוטים מזרחה כ-15 מעלות, יחד עם מבנה קמר חתירה, בנטייה קטנה מזו של היחידות העתיקות (למשל תצורת מישש - נוטה כ-30 מעלות לאותו כיוון; איור 5a). הקונגלומרט

שבסיס תצורת צפע מונח, קרוב לאופקית, על גבי אי התאמה אירוזיבית (גדיעה נרחבת וכניסה במפרצים לתוך מבנה חתירה), עדות להמשך הקימוט פוסט-אפעה, שלב אירוזיבי נרחב בעקבות הקימוט, וכיסוי המרחב על ידי קונגלומרט הבסיס של תצורת צפע הנטוי קלות. תצפית לכיוון צפון-מזרח: המשך החתך של תצורת צפע באזור הכביש - שכבות של חרסיות וסלעים קרבונטיים המקיפות את הקער.

תחנה מספר 8 : צומת כמוס - תצורות צפע ורותם, מאובני עצים (נ.צ. 207048/544709)

הגעה לתחנה. על כביש אורון, ממזרח לצומת דרך העפר הפונה למזרח לנחל כמוס.

מטרות. הכרת המגע בין תצורת צפע לתצורת רותם, והכרת חתך תצורת רותם.

תאור התחנה. המגע בין תצורת צפע לתצורת רותם חשוף היטב לצד הכביש: תצורת רותם מונחת באי התאמה אירוזיבית וזוויתית קלה על תצורת צפע (איור 7a). בתצורת רותם חתך של חולות גסים עם שכוב צולב (איור 7b). בהמשך מצויה שכבת הגריט ובה ממצאים של עצמות יונקים (ראה תחנה מס' 1). במעלה החתך, לעבר שיא הגבעה, מצויים מאובנים מבורזלים של עצים (גזעי דקלים ושיזף; איור 7c). מנקודת התצפית תינתן סקירה על המשך החתך כלפי מרכז האגן, ועל מבנה תת-הקרקע של קער ימין, כפי שנלמד מן הסקרים הגיאופיזיים שכללו גם סקר סייסמי תלת ממדי (טרכטמן ואחרים, 2002) וכן פענוח מחודש של הקידוחים שנערכו באזור ואשר השלימו את התמונה העולה מלימוד המחשופים. תוצאות הסקרים (לדוגמא - ראה איור 9) הראו כי במרכז מישור ימין מונחת חבורת חצבה על חתך קירטוני-חווארי עבה של חבורת הר הצופים. זאת בניגוד להערכות קודמות (ארד, 1958) לפיהן היא מונחת ישירות על חבורת יהודה. זוהה גם "גוף החול העיקרי", שהוא בעל משמעויות הידרולוגיות, ומופו תצורות צפע ורותם. בתצורת צפע הוגדרה מערכת ערוצים המתחברת לתעלת דימונה. במיפוי הגיאולוגי לא הובחנו בחבורת חצבה העתקים המגיעים לפני השטח, וההעתקים שזוהו בחבורת יהודה הם בעלי זריקות סטרטיגרפיות קטנות. בצפון מישור ימין הסתמן קיומו של אוכף סטרוקטורלי המהווה הפרדה ביו קער ימין לקער רותם.

תחנה מספר 9 : כביש ירוחם - הר אבנון - מכתש גדול: חצבה במפרצים (נ.צ. 196209/543087)

הגעה לתחנה. קטע הכביש מהר אבנון ועד לירוחם (ללא עצירה).

מטרות. הכרת החתך של שולי קמר חתירה ובקעת ירוחם.

תאור התחנה. מחשופים של תצורת אפעה בשולי נחל אבנון. השכבות נטויות קלות לצפון מערב, עם המבנה. המחשופים אינם רציפים, ומציגים עדות נוספת להמשך הקימוט פוסט- תצורת אפעה.

5. מקורות

אלרון, א., 1980, הגיאולוגיה של אזור נחל צין (גיליון חצבה, חלק צפוני). עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים, המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/6/79, 54 עמ'.

ארד, א., 1958, דו"ח ביניים גיאולוגי של אזור דימונה (א-טריבה). המכון הגיאולוגי, 15 עמ'.

בן-תור, י., פרומן, ע., 1951, המפה הגיאולוגית של ישראל 1:100,000, גיליון עבדת. המכון הגיאולוגי.

בן-תור, י., פרומן, ע., 1961, המפה הגיאולוגית של הנגב 1:100,000, גיליון 16: הר סדום (מהדורה שנייה). המכון הגיאולוגי, 98 עמ'.

ברונר, א., ויינר, ד., גולדמן, מ., קלבו, ר., ברטוב, י., 1999, מחקר גיאופיסי להכרת מבנה תת הקרקע במישור ימין. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/10/99, המכון הגיאופיזי לישראל, דו"ח 641/170/96, 36 עמ'.

הירש, פ., 1995, המפה הגיאולוגית של ישראל בקנ"מ 1:50,000, גיליון 19-II (המכתש הקטן). המכון הגיאולוגי.

הירש, פ., שחר, י., 1993, אירועים פוסט טורוניים מדרום לערד ופציאסים שונים של תצורת חצבה. החברה הגיאולוגית, הכנס השנתי - ערד 1993, חוברת הסיורים, עמ' 150-133.

הרפז, י., 1961, הסקר ההידרולוגי באזור רותם (א-טריבה). תכנון המים לישראל, תל-אביב.

ויינר, ד., ברונר, א., גולדמן, מ., קלבו, ר., ברטוב, י., 1999, סקר גיאופיזי משולב במישור ימין. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי - ים המלח 1999, עמ' 24.

זילברמן, ע., 1977, הגיאולוגיה של קו סעד נפחא ברמת עבדת. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/6/77, 70 עמ'.

חרש, א., 1967, הגיאולוגיה של מישור ירוחם-דימונה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים, 72 עמ'.

טרכטמן, פ., ברונר, א., ויינר, ד., מדבדייב, ב., וברטוב., י., 2002, מחקר גיאופיזי סיסמי תלת ממדי לחקר תת הקרקע במישור ימין. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי, מעגן-2002. עמ' 21.

יחיאלי, י., אלרון, א., סנה, ע., 1994, המפה הגיאולוגית של ישראל בקנ"מ 1:50,000, גיליון נאות הכיכר (19-III, 20-IV). המכון הגיאולוגי.

ערן, ג., 1982, הגיאומטריה של מונוקלינות בנגב. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית בירושלים, 89 עמ'.

פרוינד, ר., זק, י., 1973, נדידת ההתקמטות והשבירה לאורך מבנים גיאולוגיים. טבע וארץ, כרך ט"ו, עמ' 264-270.

קלבו, ר., 2000, סטרטיגרפיה ופטרולוגיה של תצורת חצבה בערבה ובנגב: השלכות לגבי התפתחות אגני ההשקעה והמורפוטקטוניקה של בקע ים המלח. עבודת דוקטורט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 113 עמ'.

רודד, ר., 1978, המפה הגיאולוגית של ישראל, גיליון אורון קנ"מ 1:50,000. המכון הגיאולוגי.

רודד, ר., 1996, המפה הגיאולוגית של ישראל בקנ"מ 1:50,000, גיליון 19-I (דימונה). המכון הגיאולוגי.

שירב, מ., שילוני, י., ומינסטר, צ., 1997, מרבצי החול במישור רותם - חישובי רזרבות על בסיס קידוחים. דו"ח GSI/45/97, 23 עמ'.

Bartov, Y., 1978, Arava Rift Valley and the Dead Sea. Int. Assoc. Sedimentol. (IAS), 10th Int. Cong. Sedimentol. Sedimentology in Israel, Cyprus and Turkey, Guidbook, part II: Postcongress, Israel, p. 37-94.

Bartov, Y., Arkin, Y., Lewy, Z., and Mimran, Y., 1981, Regional stratigraphy of Israel: a guide for geological mapping. Geological Survey of Israel.

Bentor, Y. K., and Vroman, A., 1957, The geological map of the Negev, sheet 19, Arava Valley, 1:100,000, with explanatory notes. Geological Survey of Israel, 66 p.

Calvo, R., and Bartov, Y., 2001, Hazeva Group, southern Israel: New observations, and their implications for its stratigraphy, paleogeography, and tectono-sedimentary regime. Israel Journal of Earth Sciences, v. 50, p. 71-99.

Druckman, Y., Gill, D., Fleischer, L., Gelberman, E., and Wolf, O., 1995, Subsurface and structural evolution of the Southwestern Israel. Israel Journal of Earth Sciences. v. 44, p. 115-135.

Goldsmith, N.F., Hirsch, F., Friedman, G.M., Tchernov, E., Derin, B., Gerry, E., Horowitz, A., Weinberger, G., 1988, Rotem Mammals and Yeruham Crassostreids: stratigraphy of the Hazeva Formation, Israel, and the Paleogeography of the Miocene Africa. Newsl. Stratigr. v. 20 (2), p.73-90.

Greenberg, M., 1967, Sand deposit – Mishor Rotem. Geological Survey of Israel, Report No. M.P. 184/67, 10 p.

Gvirtzman, G., and Buchbinder, B., 1969, Outcrops of Neogene formations in the Central and Southern Coastal Plain, Hashephela and Be'er Sheva regions, Israel. Geological Survey of Israel, Bulletin No. 50, 73 p.

Hall, J. K., 1997, Landforms of Israel and adjacent areas, 1:500,000 scale. Geological Survey of Israel.

Miller, E. R., and Simons, E. L., 1996, Relationships between the mammalian fauna from Wadi Moghara, Qattara Depression, Egypt, and other Early Miocene faunas. Proc. Geol. Surv. Egypt Cenn. Conf. 1996, p. 547-580.

Neev, D., 1960, A pre-Neogene erosion channel in the southern Coastal Plain of Israel. Geological Survey of Israel, Bulletin No. 25, 20 p.

Roded, R., 1982, On the age of folding of the Ef'e anticline. Geological Survey of Israel, Report GSI/3/82, 21 p.

Savage, R. J. G., and Tchernov, E., 1968, Miocene mammals of Israel. Proceedings of Geological Society of London, v. 1648, p. 98-101.

Shahar, Y., 1973, The Hazeva Formation in the Oron-Ef'e syncline, Israel. Israel Journal of Earth Sciences, v. 22, p. 31-49.

Sneh, A., 1967, The Hazeva Fm., Semi-annual progress in geological research projects for the period Oct. 1966 to Mar. 1967. Geological Survey of Israel, Report OD/6/68, p. 7-10.

Sneh, A., 1981, The Hazeva Formation in the Northern Arava, Israel. Israel Journal of Earth Sciences, v. 30, p. 81-92.

Steinitz, G., and Bartov, Y., 1991, The Miocene-Pleistocene history of the Dead Sea segment of the rift in light of K-Ar ages of basalts. Israel Journal of Earth Sciences, v. 40, p. 199-208.

Steinitz, G., Calvo, R., and Bartov, Y., 2000, New 40Ar/39Ar age for the En Yahav dike and its implications on the age of the Hazeva Formation. Geological Survey of Israel, Current Research, v. 12, p. 206-208.

Zilberman, E., 2000, Formation of "makhteshim" – unique erosion cirques in the Negev, southern Israel. Israel Journal of Earth Sciences, v. 49, p. 127-141.

סיור במכרה הפוספטים בנחל צין

הצגת פעילות הכרייה ומגוון תופעות שנחשפו על ידה

עמיר איל וניר בר דוד

רותם אמפרט נגב

1. מבוא

1.1 כללי

סיור זה שונה במהותו מרוב הסיורים הנערכים בכנסים גיאולוגיים מכיוון שהוא אינו מסכם תוצאות של מחקר מדעי שיטתי בנושא מסוים. לסיור שתי מטרות עיקריות, אשר ישתלבו זו בזו:

א. הצגת הפעילות של כריית פוספטים ונגזרותיה, על מורכבותה ועל שלל הנושאים, הבעיות והדילמות הכרוכים בה.

ב. ניצול הזדמנויות ייחודיות, שיוצרת הכרייה, על ידי חשיפת תופעות גיאולוגיות שונות, כשחלקן מיועדות לשימור.

1.2 ''רותם אמפרט נגב'' – תעודת זהות

"רותם אמפרט נגב" נוצרה מאיחוד בין "רותם דשנים", אמפרט (**Am**sterdam **Fert**ilizers) ו"פוספטים בנגב". לחברה 3 מכרות: אורון, הוותיק בין השלושה, פועל מ 1952. רותם, פועל מ 1970 וצין, הגדול והצעיר בין המכרות, פועל מ 1976. מכרה ומפעל המכתש הקטן פעלו בשנים 1967-1992. לאחרונה נפתח שם "נתיב מכרות הפוספטים" במסגרת תכנית השיקום של אזור הפעילות.

בכל המכרות מתבצעת כרייה פתוחה, כשהטפל המוסר מגוש כרייה מסוים נערם באזורים הסמוכים, שהכרייה בהם הסתיימה. לכל מכרה צמוד מפעל העשרה:

באורון מעשירים פוספט לבן (דל אורגני גירי) בתהליך של טחינה מלאה ופלוטציה. רוב תוצרת המפעל מיועדת לייצור חומצות במפעלי רותם והשאר מיוצא למפעלי חומצות ודשנים בחו"ל.

ברותם שני מסלולי העשרה עיקריים: חומר המיועד לייצור חומצות עובר גריסה, ניפוי, טחינה ופלוטציה של חלק מהפרקציות. חומר המיועד לייצור דשנים עובר גריסה, ייבוש וניפוי יבש בלבד. הדשנים והחומצות מיוצרים במפעלי החברה במישור רותם.

בצין עובר כל החומר גריסה, ניפוי ושטיפה. רוב התוצרת, שאיכותה נמוכה מ 32% ת"ז (תחמוצת זרחן), עוברת קליית בזק והתוצרת המועשרת, ללא חומר אורגני, משונעת ברכבת למישור רותם לייצור חומצה זרחתית ירוקה ממנה מייצרים חומצה לבנה. שאר תוצרת השטיפה, באיכות מעל 32% ת"ז, מיועדת ליצוא כחומר גלם לתעשיית הדשנים.

המפעל עומד בפני שינוי מהותי השנה. מתקן הקלייה ייסגר, בעיקר משיקולים אקולוגיים והמפעל יעבור הסבה להעשרה בתהליך ידידותי יותר לסביבה של טחינה מלאה ופלוטציה, בדומה לתהליך באורון. עליה בניצולת וצמצום יצוא הסלע המועשר (על מנת לשמור רזרבות לשימוש עצמי, למוצרי המשך) יאפשרו צמצום הקף הפעילות במכרה ובמתקן ההשבחה.

לסכום – חלק הארי של התוצרת המועשרת בכל האתרים משמשת לייצור מוצרי המשך במפעלי החברה במישור רותם. בנוסף, יש ל"רותם אמפרט נגב" מפעלים באירופה, המייצרים כימיקלים שונים על בסיס החומצה הזרחתית המיוצרת בישראל.

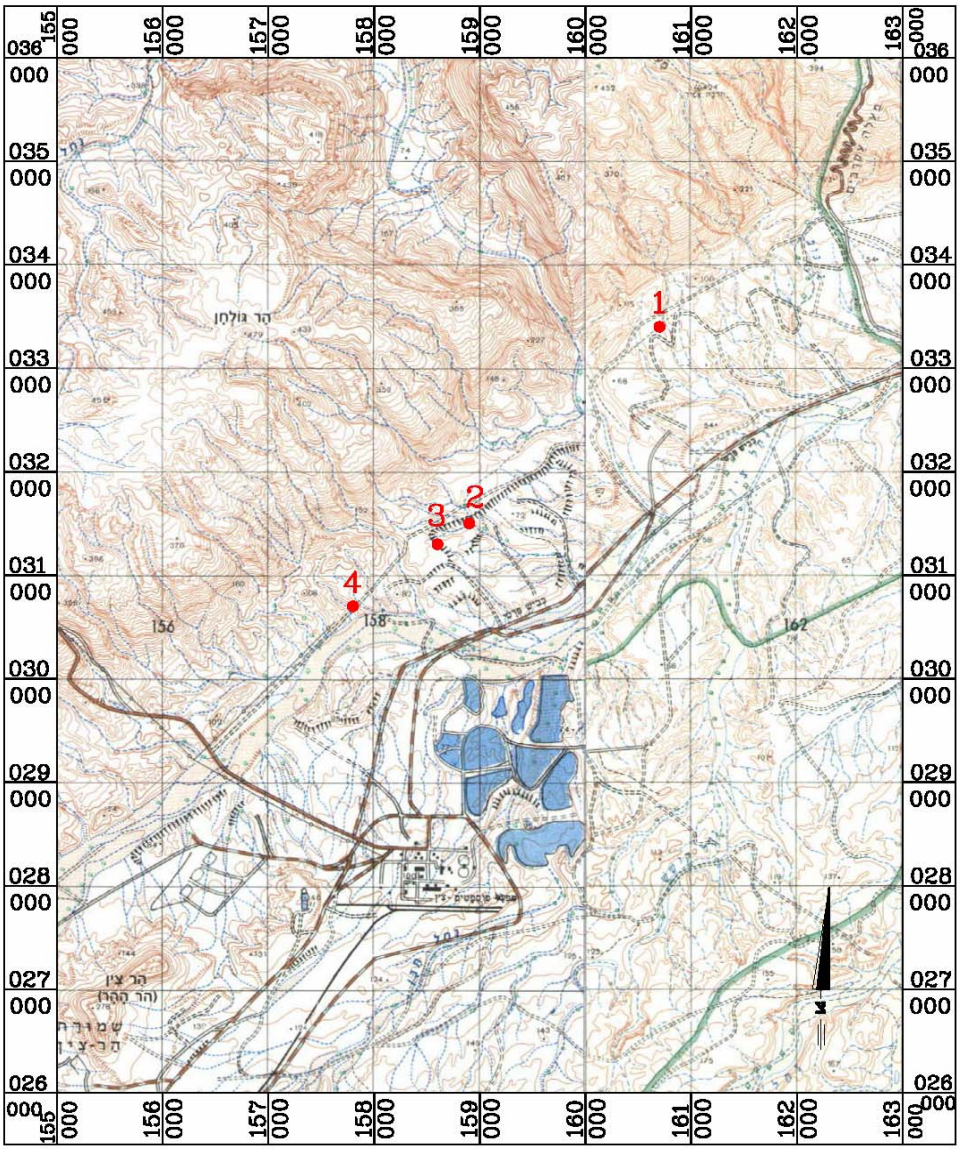
95% מתוצרת החברה מיועדים ליצוא. החברה מעסיקה במפעליה בנגב כ 1000 עובדים ישירים ועוד אלפי עובדים המספקים לה שירותים שונים.

2. תחנות הסיור

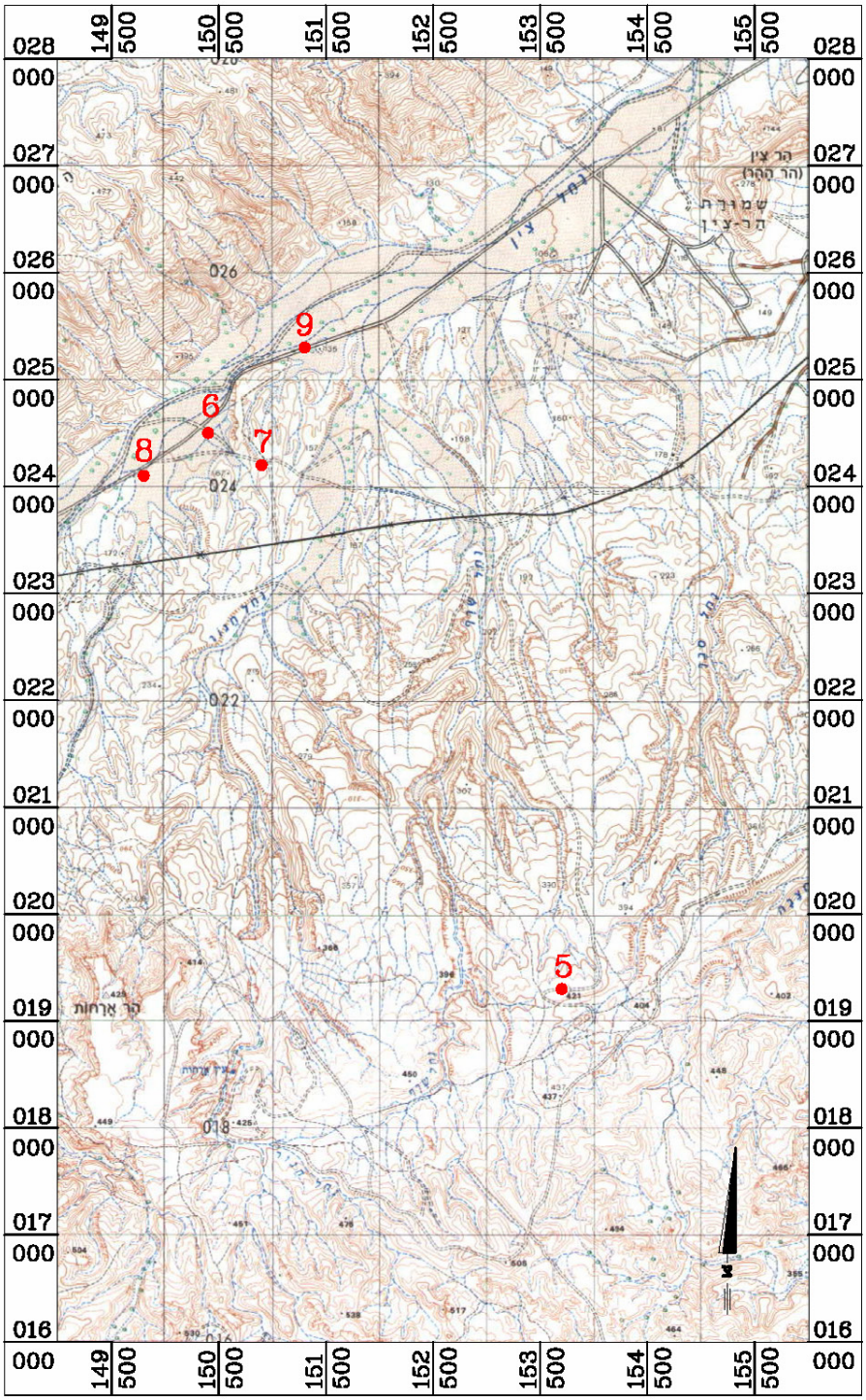
ההגעה לכל התחנות הינה בדרכי המכרה ולפיכך כרוכה בתיאום מראש.

איור מס' 1 : אזור צפוני - מזרחי

תחנות הסיור



תחנות הסיור



איור מס' 2 : אזור דרומי מערבי

תחנה 1 : ליניאמנט חצרה (נ"צ 16070334)

ליניאמנט חצרה הוגדר ומופה על ידי גדי ערן כקו מורפו-טקטוני על הכיפוף הסינקלינלי שלרגלי מונוקלינת חצרה, המעיד על פעילות צעירה מקוגלומרט הערבה (ערן 1982). ערן זהה ותעד מס' שברים בקונגלומרט, חלקם נורמלים וחלקם הפוכים, בקיר המערבי של נחל ללא שם החוצה את הליניאמנט.

בור הכרייה בו אנו צופים חושף את צידו השני של אותו מחשוף, כשהחשיפה הטרייה של הקיר הכרוי מבליטה את המעוות בשכבת הקונגלומרט (איור מספר 1).

היתרון העיקרי של בור הכרייה להבנת אופי הליניאמנט הינו העובדה שכאן ניתן לבחון גם את המעוות בסלעי התשתית, שהם במקרה הנוכחי הסלעים הבונים את פרט הפוסספט של תצורת מישאש – פוספוריט, פוספוריט מצורר, חוור פוספטי ופוספט גירי, היוצרים כפיפה נוספת, מקבילה לציר הקער, כשלפחות חלק מתופעות המעוות השונות בקונגלומרט נגרמות כתגובה לאותה כפיפה.

בבור הכרייה בו נבקר נוכל לראות גם אזורי מעבר בין פוספט דל אורגני לפוספט גבה אורגני ולפוספט ביטומני.

תמונה מס' 1 – שברים בקונגלומרט הערבה

תמונה מס' 2 : יחידת הפוספוריט ביורקעם דרום.
צילום ועריכה – אילנית טפיירו

תחנה 2 : יורקעם דרום - חתך פוספטי מייצג של מרבץ צין (נ"צ 15890316)

מקורו של רוב חומר הגלם במכרה צין הוא ביחידת הפוספוריט שבגג פרט הפוספט של תצורת מישאש.

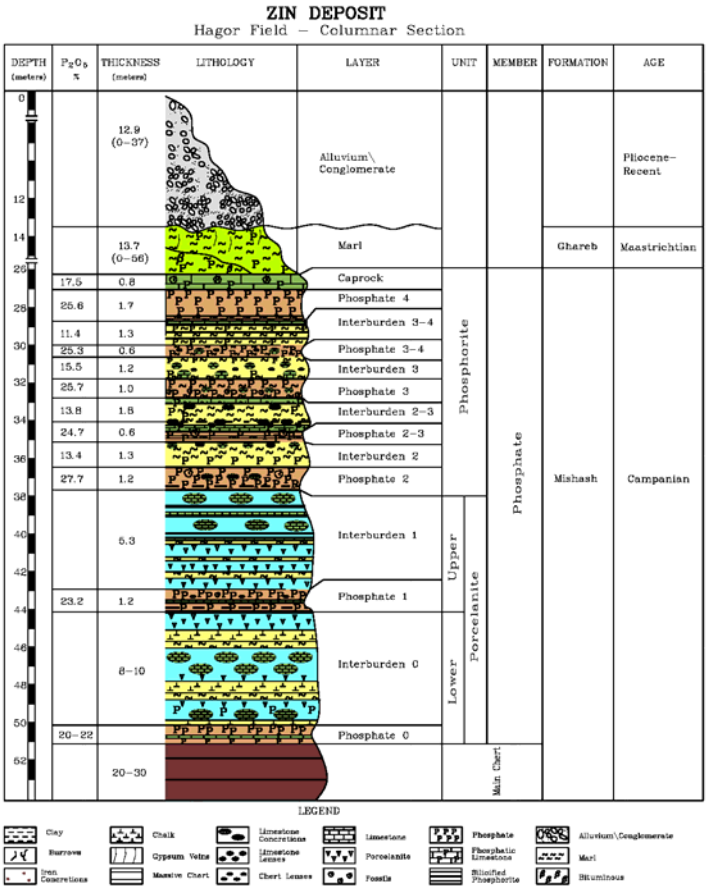
היחידה, בעובי של 12-10 מ' בנויה מחמש או שש שכבות פוספט, מופרדות על ידי טפלי ביניים. האיכות והעובי של השכבות השונות, פוספט וטפלי ביניים, משתנה לטרלית בתוך המרבץ, אולם החלוקה הבסיסית נשמרת, כך שלחתך ביורקעם דרום (תמונה מס' 2) מבנה זהה לחתך של הגור, הנמצא כ 15 ק"מ מערבה (איור מס' 3).

בחתך זה מיוצגים כל טיפוסי הסלע המאפיינים את פרט הפוספט.

איור מס' 3

פרט הפוספט בחגור

כמייצג של החתך במרבץ צין



תחנה 3. תצפית על מחשוף של תצורת מזר ממלאת תעלה קדומה ("כנפי הצניחה")

(נ"צ 15860313)

תצורת מזר, או פרט כונתילה של תצורת הערבה

עם תחילת העבודות בשדה הפוספטים של המכתש הקטן התגלה שם ע"י יעקב שחר, גיאולוג בחברת "פוספטים בנגב", מחשוף של חוור שהוגדר כמשקע ימי מגיל פליוקן (Shahar et al.1966). שדה המכתש נמצא ברמת מזר, ליד נחל מזר, ומכאן שמה של התצורה. היא נחשבה אז למשקע של אותו מפרץ ים שחדר לבקע דרך עמק יזרעאל והשקיע את מלח סדום. מחשופי התצורה בבקעת צין תועדו לראשונה על ידי אלרון (1980) והם מופיעים בגליון נאות הככר (יחיאלי ועמיתיו 1994). מחשופים של תצורת מזר באזורי הכריה במכרה צין הוצגו בכנס החברה הגיאולוגית בעין בוקק ב 1988 (שילוני ועמיתיו 1988).

עבודות מפורטות, שנערכו מאוחר יותר, מראות שמדובר על סדרת אגמים, בעלי מליחות משתנה ולא על לשון ים, כשהמחשופים בבקעת צין הם חלק ממשקעי "אגם ערבה", כשאנו נמצאים בחלקו הצפוני (אבני 1998). אבני כלל את משקעי האגמים ב"פרט כונתילה" של תצורת הערבה והכליל בהם גם את המחשופים בבקעת צין. לפי אבני (1998) גיל פרט כונתילה/תצורת מזר הינו פליוקן מאוחר – פלייסטוקן מוקדם.

במחשוף שלפנינו 12 המטרים שבתחתית הקיר בנויים מהחתך הפוספטי (ראה תחנה 2). תופעת "כנפי הצניחה" (השם שניתן לתופעה ע"י עובדי המכרה) שייכת לטפל העליון (איור מס' 3).

התופעה התגלתה בזמן הכרייה ביורקעם דרום, בסוף שנות ה 80 והוכרזה כאתר לשימור ע"י עמנואל סקל, שהיה אז מנכ"ל "פוספטים בנגב". הקיר שחשף את התופעה נמצא בשולי בלוק שהכיל כ 1.2 מליון טון פוספט. המחויבות לשמר את התופעה כרוכה בויתור על רצועה שרוחבה כ 100 מ' בבסיסה והיא מכילה רזרבה איכותית של כ 200,000 טון פוספט.

צורת הכנפיים, שנוצרה ע"י התחתרות של נחל עם קירות זקופים במרכזה של תעלה רחבה עם קירות מתונים, בנויה מחוור אגמי אפור, שבבסיסו חילופי חוור וחול צהבהב – אדמדם, בתוך מסגרת של קונגלומרטים, ששקעו לפני ואחרי השקעת החוור, אשר כיסה שטחים נרחבים וניצל מגידוע רק באתרים בהם הוא ממלא תבליט.

בשלב מסוים גלשו לתוך האגם גושי ענק של סלעי גיר מתצורת שבטה, הבונה את המצלעות של רכס חצירה. גושי הגיר מתרסקים בחלקם ומתערבבים בחוור האגמי. ניתן לראותם בחלק הצפוני של הקיר, ליד חתך בערוץ נוסף, עמוק וצר, שהתמלא בחוור. גלישות מעין אלו מעידות על אקלים לח יותר או על רעידות אדמה גדולות או על שילוב של שני הגורמים. ניתן לראות גלישות גדולות, בנויות בעיקר מתצורת שבטה, לאורך רכס חצרה. הן הוצגו בכנס החברה הגיאולוגית ב 1988 (שילוני ועמיתיו 1988) ומופו בקנה מידה 1:50,000 בגליון נאות הככר (יחיאלי ועמיתיו 1994).

תמונה מס' 3 – מחשוף ""כנפי הצניחה"", מבט מצפון מזרח

צילום – יגאל לוי

תחנה 4 : חתך בחלק התחתון של תצורת מזר (נ''צ 15780308) (תמונה מס' 4)

מחשוף שהתגלה עם פריצת הדרך לקידוחים, המספקים למפעל צין מים מליחים מאקוויפר הקרטיקון התחתון. מים אלה הכרחיים לביצוע תהליך העשרת הפוספט. בבסיס – קונגלומרט עם חלוקים מעוגלים ממוצא מקומי, בעיקר גיר, דולומיט וצור. מעל – חילופי חוור קרטוני אפור, משוכב, ועדשות חול אדמדם,

גס, עם שיכוב צולב. חתך זהה מופיע בבסיס המחשוף שבתחנה 3, אולם מסיבות טכניות לא ניתן לבחון אותו מקרוב.

תמונה מס' 4 – החלק התחתון של תצורת מזר

צילום – יגאל לוי

תחנה 5 : תצפית חצבה דרום (נ''צ 15370193)

לפנינו שקע טקטוני מקומי על אנטיקלינת מחמל, בו השתמר חתך פוספטי אופייני לאזורים הגבוהים במבנה. מעל פרט הצור העיקרי מונחות כל שכבות הפוספט ללא טפלי הביניים, המאפיינים את פרט הפוספט. שכבות הפוספט מתאפיינות בריכוז נמוך במיוחד של חומר אורגני (פחות מ % 0.2) ובריכוז גבוה של גיר. בגג החתך התפתח פוספט ברזלי בעובי משתנה. למעשה מתקבל כאן חתך רציף של פוספט בר ניצול בעובי של 6-12 מ'. הטפל העליון בשדה בנוי בעיקר מסלעי חבורת עבדת, המונחים באי התאמה על תצורת ע'רב, שעוביה משתנה מ 0 למס' מטרים.

אנו צופים על השקע המזרחי מתוך סדרה של מס' שקעים נוספים, בעלי אופי דומה, היוצרים רצועה באורך של כ 2 ק"מ ורוחב של כ 500 מ' .

בדו"חות השונים שפורסמו עד לפני כ 3 שנים נקראה כל החלקה "חצבה דרום" , שם שניתן לה ע"י שילוני וחבריו בספ"א (סקר פוספטים ארצי).

בגלל סיבות סטטוטוריות נשאר רק השקע המזרחי (שלפנינו), שהכיל כ 4 מליון טון פוספט, עם השם המקורי ואילו שאר השדה ובו כ 6 מליון טון, קיבל את השם "חצבה מערב". בחצבה דרום מתבצעת פעילות כריה מזה כעשור. הפוספט בחצבה מערב מתוכנן לכרייה החל מ 2007. הוא נכלל בשטח הזכיון של רותם מ 1995 כמו גם בזכיון החדש, שהתקבל ב 2002 ל 20 שנה. השטח אינו נכלל בשמורת טבע.

הפוספט בחצבה מערב חיוני מאוד לקיומו של מפעל צין. היות וזהו פוספט גירי, דל אורגני, הוא מתאים לייצור חומר גלם לחומצה לבנה בתהליך הפלוטציה, האמור להחליף במהלך השנה הקרובה את קליית הבזק בצין ובכך לתרום להפחתת רוב כמויות האבק הנפלטות כיום ממפעל צין. המרבץ נמצא בבקעה נסתרת, הנצפית רק מטווח קרוב, לאורך קטע קצר של דרך המטיילים. העובדה שהוא תופס שטח מצומצם

עם גבולות ברורים, הנסיון שנצבר והמודעות שגדלה ברותם בכל הנוגע לשיקום שטחי כרייה, יביאו למיזעור הפגיעה הנופית.

חגור

החלקה העיקרית של מכרה צין, בה מתבצעת פעילות כרייה מזה כ 7 שנים.
שדה חגור ממוקם מבחינה סטרוקטורלית על האגף הדרומי מזרחי של סינקלינת צין, בין נחל חגור לנחל חווה, כ 8 ק"מ דרומית מערבית למפעל צין.
כיום מתבצעת בחלקה פעילות של הסרת טפל, כריית פוספט ושיקום תוך כדי כריה בשלבי עבודה שונים.

תחנה 6. תצפית (נ"צ 15040245)

במערב ובדרום מערב – המצוק הצפון מזרחי של רמת עובדת, בדרום ובדרום מזרח – קמר מחמל, המשכו המזרחי של הסעיף הצפוני של מבנה הרמון, הבנוי בעיקר מצור מסיבי. צמוד לחלק העליון של הרכס נראה הר אורחות, הר שולחן שמדרונותיו בנויים מחוור ע'רב ותקיה ובגגו מצוקי גיר של חבורת עבדת מכוסה בקונגלומרט שחק. מסביב להר מחשופי פוספט רבים, חלק משדה הפוספטים אורחות, הנמצא מחוץ לזיכיון של רותם. במזרח – הר צין. בראות טובה אפשר לראות את הרי אדום. בצפון ובצפון מזרח – קמר חצרה - הר חלק - הר רכב.

כרייה, שיקום ושימור

אנו עומדים על ערימת טפל ראשוני. על מנת לפתוח את השדה, אותר שטח קרוב למרבץ, שעל פי הסקר הגיאולוגי נמצא שאין בו רזרבות פוספט, כך שניתן לשפוך בו טפלים. בשלבים מתקדמים יותר של הכרייה שופכים טפלים לתוך בורות, שהכרייה בהם הסתיימה.
הכרייה בחגור היא דוגמא מצוינת לשימור ושיקום נופי, משולב בפעילות השוטפת, בתיאום ובשיתוף פעולה עם רשות הטבע והגנים, החל מן השלבים המוקדמים ביותר של הפעילות בשדה.
חלק ניכר מן הפעילויות שיוצגו בחגור בוצעו גם בחלקות או מרבצים נוספים. בגבול הצפוני של השדה שימרנו את הקיר הטבעי, הבנוי ברובו מקונגלומרט, התוחם את נחל צין מדרום. הכרייה מתבצעת מאחורי הקיר ובסיומה ממלאים את הבור בטפל עד לגובה המקורי. כבר היום ניתן לראות שטח נרחב בו כמעט הושלם המילוי. שימור הקיר כרוך בוויתור על רזרבה של כ 300,000 טון פוספט.
מצפון לנו, בין מאגר הטפל לאפיק נחל צין, משתרע שטח נרחב ששיקומו כמעט הסתיים. כאן כרינו רליקט (מישאר, או "אי") של פוספט אשר היה קבור מתחת לסחף של נחל צין.
את שכבת הקרקע העליונה (top soil), בעובי של כ 0.5 מ', שמרנו בשולי השטח כסוללה נגד שטפונות.
עם גמר הכרייה נוצר במקום בור בעומק של 20-30 מ' ובנפח של כ 1.5 מליון מ"ק, אותו מלאנו בטפלים מגוש הכרייה העיקרי (זה שאחרי הקיר ששימרנו) עד לגובה הטופוגרפיה המקורית. לאחר מכן פוזרה הקרקע העליונה על פני השטח ונעשתה פעולת גימום.
במבט קצת יותר רחוק מזרחה, ניתן להבחין בריכוז שיטים בנחל שרף. גם שם שימרנו את אפיק הנחל ואת הגדה המזרחית שלו, הגובלת באזור הכרייה.

תמונה מס' 5 - חגור הבור בתום הכרייה - מבט ממערב

תמונה מס' 6 הבור בשלבי מילוי מחדש – מבט ממזרח

צילומים – נדב בלוך

תחנה 7 : שברים (נ''צ 15090242)

מהסינקלינה הראשית, שצירה עובר בסמוך למצלעות ההר החלק – הר רכב, מסתעפות מספר סינקלינות משניות. צירה של הגדולה מביניהן מקביל לתוואי של נחל חגור, כיוונו צפון דרום, בזווית של כ 60^0 לציר הראשי. מבנה סינקלינלי זה מלווה במספר העתקים מקבילים ותת מקבילים לצירו, אשר נחשפו תוך כדי כרייה בתצורת ע'רב ובפרט הפוספט של תצורת מישאש.

לאחרונה התבצעה כרייה אינטנסיבית בקרבת ציר המבנה וכתוצאה מכך נחשפו העתקים רבים ומבנים קטנים של מספר מטרים בודדים. ניתן לראות בקיר הדרומי של בור הכרייה בגג תצורת ע'רב סידרת שברים נורמלים היוצרת מס' מדרגות וגרבן.

כמו כן נחשף בגבולות השדה שבר עם תזוזה אלכסונית, עם מרכיב אופקי ימני, בכיוון צפון – דרום, בעל דיפ 70^0 ועם זריקה אנכית של כ 20 מ'. העתק זה משמש כגבול המערבי של פס הכרייה ואילו בקיר הנגדי ניתן לראות בתצורת ע'רב מעברים בין חוור לבין פצלי שמן.

תחנה 8. עדויות לבור קרסטי (נ''צ 14980241) (תמונה מס'7)

לפנינו חתך רוחב, אשר במבט ראשון ניתן לפרשו כגרבן קטן, שרוחבו כ 30 מ'. מדרום מונח החלק העליון, הקרטוני –גירי של תצורת ע'רב מול החלק התחתון, החוורי – חרסיתי שלה ומצפון מונח חתך פוספטי מול ע'רב תחתון. כל החתך גדוע ע''י סחף צעיר של נחל צין ויובליו.

הכריה מראה שזהו גוף בעל צורה גלילית בקירוב, מכאן שלא מדובר על שבירה אלא על נפילה לבור, הנמצא אי שם בעומק. בורות קרסטיים ממולאים בחלקי חתך גבוה יותר מוכרים באזורים רבים בנגב, כולל שדות הפוספטים, בהם התופעה התגלתה בקדוחים או בזמן כרייה, דוגמת הבור הנוכחי.

תמונה מס' 7 – התמוטטות לתוך בור קרסטי

צילום – יגאל לוי

תחנה 9 : סחף מתוארך בנחל צין (נ''צ 15130253)

חלק מאזור הכרייה בחגור נמצא באזור האפיק הפעיל של נחל צין, במקום בו הזרימה מתפצלת לשני אפיקים ראשיים, כך שניתן לחסום אחד מהם עד גמר הכרייה, כיסוי הבור ופתיחת הסוללה.

מקידוחי הסקר ידוע שעובי מלוי הסחף בנחל צין מגיע ל40 מ'. בזמן חשיפת הפוספט באזור זה נוצרה הזדמנות נדירה, אולי חד פעמית, להגיע למחשוף סחף, לדגום ולתארך אותו.

בבור שלפנינו עובי הסחף הגיע ל 25 מ'. 4 דגימות משכבות של חול דק וטין נלקחו לתיארוך במעבדת הלומיניסנציה במכון הגיאולוגי בידי נעמי פורת. מהדוגמאות הופרד קוורץ שעליו נערכו האנליזות.

להלן התוצאות:	דוגמה	עומק (מ')	גיל (אלף שנה)
	1	22	69± 7
	2	12	51± 5
	3	12	59± 7
	4	2.3	10± 1

עבודה זו, עם דיון ראשוני בהשלכותיה, מוצגת בהרצאה בכנס הנוכחי (פורת ועמיתיה 2005)

3. מקורות

אבני י. 1998, פלאוגאוגרפיה וטקטוניקה בנגב המרכזי ובשולי בקע ים המלח בסוף הנאוגן והרביעון. עבודת דוקטור במחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים

אלרון א. 1980, הגיאולוגיה של אזור נחל צין (גליון חצבה, חלק צפוני). עבודת גמר לתואר מוסמך למדעי הטבע, האוניברסיטה העברית ירושלים

יחיאלי י., אלרון א. ו סנה ע. 1994, מפה גיאולוגית 1:50,000 , גליון נאות הככר, המכון הגיאולוגי

ערן ג. 1982, הגיאומטריה של מונוקלינות בנגב. עבודת גמר לתואר מוסמך למדעי הטבע, האוניברסיטה העברית ירושלים

פורת נ., אבני י., איל ע. ובר דוד נ. 2005, חתך פלוביאלי עבה מגיל פלייסטוקן עליון עד הולוקן קבור מתחת לערוץ הפעיל של נחל צין בבקעת צין. כנס החברה הגיאולוגית בכפר הנופש משאבים, חוברת התקצירים.

רודד ר. 1978 מפה גיאולוגית 1:50,000 , גליון אורון, המכון הגיאולוגי

שילוני י., לוי י. ושטרית ד. 1988, הגיאולוגיה של אזורי הפוספטים בערבה הצפונית ובנחל צין. כנס החברה הגיאולוגית בעין בוקק, חוברת הסיורים, עמודים 9-28

Shahar Y., Reiss Z. and Gerry E. 1966, A New Outcrop of Marine Neogene in the Negev. Israel Journal of Earth Sciences 15, 82-84

קווי השבירה במרכז הנגב, מערב רמת עבדת ומבנה רמון

יואב אבני

המכון הגיאולוגי ומרכז מדע רמון

1. נושא הסיור

הסיור עוסק בגיאולוגיה רגיונלית של הנגב המרכזי ויתמקד באזור אגן שדה בוקר, בחלקה המרכזי של רמת עבדת ובחלקו המערבי של קמר רמון באזור המכונה "הר הנגב הגבוה". הנושאים העיקריים שידונו במהלכו:

1. מבני הקשת הסורית בהר הנגב בדגש על אי ההתאמות בחתך הקרטיקוני באגף הצפוני-מערבי של "אי רמון".
2. מערכת קווי הגזירה בנגב המרכזי (צין, סעד נפחה ורמון) ומבנים שהתפתחו לאורכם.
3. החתך הפליו-פלייסטוקני של אגן שדה צין ויחסו לשברי קו צין באזור שדה בוקר.
4. חלקו המערבי של קו רמון ונחיתת מבנה רמון אל אגן מרכז סיני.
5. מורפוטקטוניקה והתפתחות הנוף של הר הנגב בנאוגן-קוורטר.

2.רקע גיאולוגי

הסיור נוגע בנושאים המרכזיים שטופלו במחקר הגיאולוגי במשך 50 השנים האחרונות ובהם מבני הקשת הסורית, קווי רצועת הגזירה נגב- מרכז סיני (ברטוב, 1974) ופעילותם הטקטונית לאורך התקופות, התפתחות מבנה "אי רמון" בקרטיקון העליון ובראשית האיאוקן ותהליכים טקטוניים ומורפוטקטוניים באוליגוקן – קוורטר. נושאים אלה טופלו בעבר בעשרות מחקרים ועבודות. בגלל קוצר היריעה יזכרו להלן רק חלק קטן מהם.

המיפוי המפורט הראשון בקנ"מ 1:100,000 של אזור הסיור בוצע על ידי בן תור ופרומן (1951; 1964). זילברמן (1977; 1991) חקר את קו סעד נפחה ורמת עבדת ואת הגיאולוגיה הרגיונלית של האזור עם דגש על התפתחות הנוף. אבני (1991; 1998) חקר את הגיאולוגיה והמורפוטקטוניקה של הר הנגב הגבוה, הנגב המרכזי וחלקים מהנגב הדרומי תוך שימת דגש על ההתפתחות הטקטונית- מורפולוגית הצעירה של הנגב. לאחרונה יצאו לאור מספר מפות גיאולוגיות מפורטות בקנ"מ 1:50,000 של אזור הסיור ובהם מפות הר לוץ (אבני, 2001) מצפה רמון (זילברמן ואבני, 2005 A) והר חמרן (זילברמן ואבני, 2005 B). כמה תחנות בסיור (תחנה 4 בנחל עקרב ותחנה 6 בהר חריף) הוצגו בעבר במסגרת כנס החברה הגיאולוגית שהתכנס במצפה רמון בשנת 1987.

2.1 מבני הקשת הסורית

הסיור חוצה בדרכו את מבני הקשת הסורית שמדרום למשאבי שדה ובהם קמר רמת בוקר, קער נחל בוקר, קמר חלוקים, קער עבדת וקמר רמון. המבנים הללו ארוכים כדי כמה עשרות ק"מ ומכוונים לצפון מזרח. מבנים אלה התפתחו במספר שלבים החל מסוף הטורון ועד לאיאוקן ביוצרם מבני קימוט א-

סימטריים שלהם אגף דרום מזרחי תלול השעון על שבר הפוך שאינו פורץ בדרך כלל אל פני השטח. מבנה רמון חורג מגמה זו, צירו מכוון למזרח-צפון מזרח ואגפו הדרומי-מזרחי שבור ידי קו שבירה אינטנסיבי, הוא קו רמון (גרפונקל, 1964). החתך הגיאולוגי החשוף בקערים כולל את סלעי חבורות הר הצופים ועבדת, בעוד שבראשי הקמרים חשופות יחידות של חבורת יהודה. בראשי המבנים הגבוהים סטרוקטורלית התפתחו מכתשים וחשופים בהם סלעים מתצורת חתירה ומחבורות ערד ורמון מגיל קרטיקון תחתון, יורא וטריאס. בזמן השקעת חבורת הר הצופים יצרו מקצת המבנים מבנים תת ימיים רדודים ומבנה רמון אף היה מורם בחלק מן התקופות אל מעל למפלס הים. כתוצאה מכך נוצרו בחתך הסטרטיגרפי ששקע על אגפי המבנים אי התאמות חריפות המלוות בשינויים פאציאליים מחתכים ימיים נורמליים במרכזי הקערים לחתכים מצומצמים בשולי הקמרים. מספר יחידות בחבורת הר הצופים אף מצטמצמים עד להעלמותם המוחלטת אל מעלה הקמרים. החתכים המצומצמים ששקעו בקרבת החופים מכילים מרכיבים קלסטיים (חלוקים ואבני חול) שנגזרו מהחלקים הגבוהים ולפעמים החשופים שהתפתחו בראשי המבנים.

הצפה ימית נרחבת בתקופת האיאוקן קברה את רוב המבנים תחת מעטה של סדימנטים קרבונטיים ימיים. בחלקו המערבי של מבנה רמון נמצאו עדויות ליחסי on-lap על מדרונות הקמר המראים כי ההצפה האיאוקנית הגיעה עד לפסגת הרכס רק לקראת האיאוקן התיכון. יש בכך ביטוי לעמדתו המורמת של מבנה רמון בזמן האיאוקן. גלישות תת ימיות שנמצאו מדרום מזרח למבנה רמון (קורנגרין, 1993) מעידות על עמדתו המורמת של קמר רמון באיאוקן התיכון אשר שתפקד כשרטון תת ימי שממנו גלשו סדימנטים מוקשים למחצה והגיעו למרחק של עשרות קילומטרים מציר המבנה. לאחר האיאוקן התחדשו תהליכי הקימוט שהדגישו שוב את המבנים. גידוע נרחב שהתרחש באוליגוקן גדע עמוקות את מבנה רמון, כמו גם מבנים אחרים של הקשת הסורית. מישור הגידוע ביטל למעשה את העמדה הטופוגרפית המורמת של מבנה רמון והשווה אותו לזה של הקערים שסביבו אשר נגדעו באופן מתון. מגמה זו נמשכה במיוקן עם השקעת תצורת חצבה.

בשלבים המאוחרים של התפתחות האזור בסוף המיוקן ובפליוקן משתנה אופי הפעילות האזורית ובהר הנגב התפתחו מבנים קמרוניים גדולים באורך גל של עשרות ק"מ שעליהם רוכבים בסופר-פוזיציה מבני הקשת הסורית. מבנה רמון הורם שוב והפך לשיאו של הקימור הגדול של הנגב המרכזי. קמרון נרחב זה כולל בציר דרום-צפון את האזור שבין נחל פארן ושפלת הנגב ובציר דרום מערב-צפון מזרח את האזור שבין ג'בל עריף א-נאקה ובין נחיתת קמר מחמל לתוך הערבה. הקימור הגדול כולל בתוכו גם אזורים קעריים שהורמו לגובה המשתווה לגובהם של הקמרים. כך הדבר לגבי הקער של הר כרכום והר שגיא, קער לוץ – נקרות וחלקה הדרומי-מערבי של קער רמת עבדת. באופן דומה התפתח בהר הנגב הצפוני קימור גדול ששיאו בפינה הדרומית – מערבית של קמר חתירה (סלומון, 1987).

התפתחות מבני הקימוט הגדולים בנגב אינה מבטלת את המשך פעילות הקימוט של המבנים השונים של הקשת הסורית שהמשיכו להתפתח גם במהלך המיוקן (קלבו, 2002) ולאחריו, אם כי פעילות זו חלשה יחסית ביחס להתפתחות המבנה הקמרוני של הר הנגב השולט בנופו הנוכחי.

2.2 מערב מבנה רמון

חלקו המערבי של הר הנגב המרכזי, הידוע כ"הר הנגב הגבוה", שבו ממוקמות מרבית תחנות הסיור מהווה אזור מפתח בהבנת תהליכי התפתחות המבנה הגיאולוגי ועיצוב הנוף של הנגב המרכזי כולו. אזור זה היה נתון מאז הסנון המוקדם בתהליכי לחיצה אשר הרימו את קמר רמון לאורך קו רמון שהוא קו של שבירה העמוקה הממוקם בצמוד לאגף הדרומי החריף של המבנה (בן-תור ופרומן, 1951; גרפונקל, 1964 ; אבני, 1991; Garfunkel, 1993). הרמת קמר רמון מעל למפלס הים בסנון הביאה ליצירת אי א-סימטרי מאורך אשר נתקף מיד עם הרמתו על ידי פעילות אירוזיבית נמרצת. תוצרי הארוזיה – קונגלומרטים וחולות- הובלו לשולי האי על ידי מערכת ערוצים ונפלטו אל החופים. ניתוח תוצרי הארוזיה ומיקום קווי החוף בתקופות השונות מאפשרים בירור שלבי התפתחות קמר רמון והתבליט הארוזיבי שהתפתח על גביו במהלך הקרטיקון והאיאוקן.

הרמת קמר רמון לוותה בגידוע הולך ומעמיק של האזור הסמוך לציר המבנה. בשלב הראשון נהרסו הסלעים הקשים של חבורת יהודה בעובי כולל של כ- 500 מ' החופים על אבני החול הפריכות של תצורת חתירה. תהליך זה התרחש בכמה שלבים בפרק הזמן שבין הטורון המאוחר והמאסטריכט. לקראת סוף המאסטריכט הצליחה הפעילות הארוזיבית לחשוף את אבני החול של תצורת חתירה ובראש המבנה התפתח מכתש ארוזיבי ראשוני. ממדיו של המכתש היו קטנים באופן משמעותי מן המכתש הנוכחי והוא נוקז לדרום אל קער הר לוץ. בחתך תצורת ע'רב במצוקי לוץ נמצאה עדשת קונגלומרט וחול ובה נמצאו שינים של דגי מים מתוקים (זסלבסקי ואבני, 1994). בדרך דומה התפתח כבר בסוף הקמפאן מכתש קדום בג'בל עריף א-נאקה שבסיני (Bartov et al., 1980).

הצפה נרחבת של האזור לקראת סוף האיאוקן המוקדם קברה את המבנים החשופים בראשי קמרי הקשת הסורית ובכלל זה את המכתש הקדום ברמון, אם כי קמר רמון עצמו המשיך להיות מבנה בטימטרי מורם. החתך האיאוקני ששקע על גבי קמר רמון וקער רמת עבדת נמשך עד לאיאוקן המאוחר שבמהלכו שקעו תצורות קציעות והר עקרב שעוביים המשותף מצפון מערב לקמר רמון מגיע לכמתים מטרים.

לאחר האיאוקן המאוחר התחדשו במבנה רמון וסביבתו תהליכי קימוט והרמה. פעילות זו פסקה כמעט לחלוטין באוליגוקן ובראשית המיוקן כאשר במרחב כולו התפתח מישור גידוע רחב מימדים דמוי פנפליין שהיה בעל השתרעות רגיונלית מזרח-תיכונית. קמר רמון שהיה המבנה הגדול באזור נגדע עמוקות ונחשף בו מחשוף רחב של תצורת חתירה התואם בקירוב את צורתו ומימדיו של המכתש הנוכחי. שיחזור מישור הגידוע המקורי מתקופה זו מראה כי הוא חשף לאורך ציר קמר רמון סלעים מחבורות ערד ואולי גם רמון. קו החיתוך בין מישור הגידוע ובין היחידה המצוקית המאסיבית של פרט חביון קבע את מימדיו של המכתש הנוכחי, אף כי המכתש עצמו לא התפתח בשלב זה בהעדר שיפועים מקומיים ובסיס ניקוז עמוק שיאפשרו את התרוקנותו כבר באוליגוקן.

לאחר עיצובו של מישור הגידוע במיוקן המוקדם ניקבר הנגב כולו על ידי תצורת חצבה. שרידי התצורה נמצאו על גבי הפסגות הגבוהות של הנגב המרכזי כמו בהר חריף ובהר ארדון (אבני, 1991). סלעים של פרט גידרון נמצאו לאחרונה בתוך חללים קארסטיים שהתגלו במהלך הכרייה במחצבות השיש של מצפה רמון שבמשור הרוחות.

התפתחות הנוף הנוכחי ובכלל זה התפתחות מכתש רמון קשורים בפעילות טקטונית אינטנסיבית במיוחד שהתרחשה אחרי השקעת תצורת חצבה בסוף המיוקן. פעילות זו יצרה מבנה כיפתי גדול ששיאו במערב

הרמון אשר הורם לגובה העולה על 1000 מ'. במקביל להרמה הוטה האזור לצפון מזרח והופעלו כל מערכות השברים החוצים את האזור ובכללם קטעים מקו סעד נפחה וקו רמון. ההרמה, ההטיה והשבירה יצרו מבנה מורפוטקטוני מסובך שבהתאמה אליו התפתחו מערכות הניקוז באזור. המכתש עצמו התחתר בפליוקן במהירות אל תוך אבני החול הפריכות. רוב עיצוב הנוף הנוכחי התפתח כבר בפליוקן והוא עבר מאז שינוי לא גדול הכולל התחתרות מוגבלת, בכמה מפלסים, בשיעור כולל של כ- 30 מ'.

2.3 שברי רצועת הגזירה נגב – מרכז סיני

שברי רצועת הגזירה נגב – מרכז סיני מהווים את רצועת השבירה הדומיננטית ביותר החוצה את הנגב המרכזי והדרומי בכוון כללי מזרח – מערב. קווים אלה פזורים בין אזור שדה בוקר בצפון ואזור בקעת הירח בדרום והם נמשכים לאורך של מאות ק"מ בסיני והמשכם למזרח מוסט כדי 105 ק"מ על ידי טרנספורם ים המלח (ברטוב, 1974) . הקווים פעלו בשילוב עם מבני הקשת הסורית (סנון – נאוגן) והם מראים על מרכיב של לחיצה המלווה במרכיב של הסטה אופקית ימנית. הפעילות משתנה בין הקוים ואף בין סגמנטים שונים של אותו הקו. כך למשל הפעילות הטקטונית לאורך מבנה רמון חזקה בקרטיקון המאוחר וחלשה בזמן הנאוגן, ומצב זה הפוך בקו סעד נפחה המצוי במרחק של כ- 15 ק"מ לצפון.

במשפחת קווים טקטוניים אלה מונים (מצפון לדרום) את קו צין, קו סעד-נפחה, קו רמון, קו עריף-בתור, קו פארן וקו תמד. קווים אלה טופלו בעבודות רבות ובהם גרפונקל (1964) ואבני (1991) על קו רמון, ברטוב (1967) על קו תמד, זילברמן (1981;1977) על קו סעד-נפחה ו- בר (1981) ו- Zilberman (1983) על קו עריף-בתור, שמיר (1983) על קו צין ו- Zilberman (1985) על קו פארן. מערכת הגזירה כולה זכתה לטיפול מערכתי בעבודתו של ברטוב (1974). בתחום שבו עובר הסיור מצויים קטעים של שלושה קווי השבירה הצפוניים.

קו ציץ- עובר בשוליו הדרומיים של קמר חתירה ונמשך מערבה אל אגן שדה בוקר, מבנה כבודה ואזור שבטה. הקו מפריד בין המבנים של הקשת הסורית הבונים את הר הנגב הצפוני (מצפון לקו) ובין הקער הנרחב של עבדת ומבנה רמון מדרומו. הקו אינו רציף ומרובות בו הקפיצות הסטרוקטורליות (שמיר, 1983). במחקרים הראשונים נקבע כי הקו פעל בעיקר בסנון אך לא מאוחר לניאוגן (ברטוב וחובריו, 1976). הקושי באיתור דפורמציה טקטונית צעירה לאורך הקו המכוסה לאורך קטעים רבים בסדימנטים צעירים הביא למחקר אינטנסיבי של הקו במסגרת פרוייקט תג"ר של חברת החשמל. במחקר זה שסוכם בדו"ח הפרוייקט (Enzel and Kaplan, 1988) נמצאו עדויות לדפורמציה טקטונית השוברת את החתך הצעיר במספר מקומות לאורכו. במחקר חדש שסוכם לאחרונה (Avni et al., 1995) נמצא חתך פליוקני קדום השמור בתוך גרבן שהתפתח בין קווי שבירה של קו צין. ניתוח מורפוטקטוני של אזור שדה בוקר תוך התייחסות לדפורמציה הטקטונית הצעירה לאורך קו צין מוצג בתחנה 2.

קו סעד נפחה – קו זה נמשך בתחומי הנגב משלוחת קדש ברנע במערב ועד לאזור נחל מרזבה על שולי הערבה במזרח. לאורך הקו התפתחו מבני לחיצה מקומיים (הר חמרן, הר קמר, הר נפחה, הר סעד) ומבני מתיחה (אגן מחמל, אגן נחל טרף ומבנה מרזבה). עיקר הפעילות הנראית לאורך הקו היא מאוחרת למיוקן. בהר נפחה והר סעד חשופות אי התאמות חריפות בין חבורת יהודה וחבורת עבדת המעידות כי קטעים מן הקו היו פעילים כבר בסנון (זילברמן, 1977). אי ההתאמות בהר נפחה יוצגו בתחנה 3.

קו רמון – קו זה חוצה את הנגב מאזור נחל לוץ במערב ועד לשולי הערבה באזור עין יהב במזרח. הקו והתופעות הסטרוקטורליות שלאורכו מוכרות היטב בזכות חשיפה עמוקה של החתך שנחשף על ידי מכתש רמון שמלווה אותו לאורך כ- 40 ק"מ. עיקר הדפורמציה שלאורך הקו מרוכזת בפס שרוחבו 2-3 ק"מ המכוון למזרח-צפון מזרח. הקו מלווה על ידי שברים כמעט אנכיים, פלקסורות חריפות, חצאי כיפות וכיפות. ניתוח המבנה הכולל מחייב קיום של גזירה ימנית בשיעור משתנה – עד למאות מטרים בתחומי הנגב לכדי 2.5 ק"מ בגב'ל מינשארה בסיני (ברטוב, 1974). למעשה יוצר קו רמון מדרגה סטרוקטורלית המפרידה בין אזור גבוה מצפונו לאזור מונמך מדרומו. באזור המורם התפתח קמר רמון ובמונמך – קער לוץ-נקרות (אבני, 1991). הפעילות הטקטונית לאורך הקו נלמדה בפירוט ונמצא כי התקיימה למן הסנון המוקדם. הפעילות מתועדת היטב בשל הופעת סידרה של אי התאמות בחתך של חבורת הר הצופים. אי ההתאמות יוצגו בתחנה 4 הממוקמת על המורד הצפוני-מערבי של הבלוק המורם, הוא קמר רמון. עלפי הניתוח נראה שכמחצית מהתבליט הסטרוקטורלי של מערב קמר רמון התפתח כבר בקרטיקון (Garfunkel, 1993). פעילות זו נמשכה גם לאחר המיוקן כאשר אזור מעבר ערוד הונמך בשיעור של כ- 50 מ' ביחס להתרוממות הר רמון שמצפונו. במקביל התפתח המרכז נחל לוץ גרבן שבו נשמר חתך של תצורת חצבה שהונמך אל תוכו (אבני, 1991). בסיור נצפה על המשכו המערבי של קו רמון ממערב למכתש רמון (תחנה 5). באזור זה הקו מתפצל למספר שברים תת מקבילים שחלקם נספג בחלקו המערבי של קמר רמון סביב הר חריף. המשך הקו לסיני יוצר סידרת מבני לחיצה ומתיחה קטנים הנמשכת אל גרבן ואדי לוצאן (ברטוב, 1974).

2.4 הפעילות הטקטונית והמורפוטקטונית בהר הנגב בפליוקן ובפליסטוקן המוקדם

הפעילות הטקטונית הצעירה (פליוקן-הווה) בהר הנגב טופלה במספר מחקרים ובהם זילברמן (1991), אבני (1991), בן דוד (1991). נקודת המוצא למחקרים אלה היה ניתוח מפורט של מפלס ההשקעה של תצורת חצבה המיוקנית ומעקב אחרי הדפורמציה שלו. ניתוח זה הראה כי בעוד שבמיוקן התיכון הר הנגב המרכזי היה שטוח כמעט לחלוטין ונמוך כדי כמה עשרות מטרים מעל למפלס הים המיוקני, הרי שבהר הנגב הצפוני ובעיקר באזור קמר חתירה התקיים כבר אזור מורם שבמרכזו התפתח המכתש הגדול. הרמה גדולה של כל האזור בפליוקן הביאה ליצירת תוואי הנוף המוכרים היום באזור. הרמה זו לוותה בהתפתחות בקע הערבה כשקע מורפולוגי מרכזי באזור ומבנים קימרונים נרחבים שהגדירו מחדש את משטר השיפועים הטקטוניים והכתיבו את מגמת התפתחות רשת הניקוז. כך למשל הורם הנגב המרכזי והוטה לצפון מזרח. הטיה זו גרמה להתפתח מכתש רמון על ידי פינוי החתך החולי הסחיף לאורך ציר הקמר שחפף את צור ההטיה לצפון מזרח. במקביל התפתחו האגנים העיליים של נחל ניצנה, נחל צין ונחל חווה במקביל לציר הנטיה הרגיונלי, עד לנקודה שבה כל אגן הוטה צפונה אל שולי המבנה בשל קיומו של מבנה גיאולוגי ניצב (כמו גרבן הר חמת) שחסם את דרכם (אבני, 1991). הרמה מחודשת של קימרון הנגב הצפוני והטייתו למזרח הביאה לשינויי ניקוז במוצא נחל חתירה מן המכתש הגדול וזה התחתר עמוקות ברכס חצרה בדרכו לנחל צין (זילברמן, 1991). במקביל התפתח בסיני אגן הניקוז הגדול של ואדי אל עריש שניקז שטחים נרחבים במזרח סיני ובשולי הר הנגב המערבי. התייצבות בתהליך ההתחתרות במהלך הפליוקן יצר מישור אירוזיבי נרחב בשולי הר הנגב שלאורכו הושקעו במפנה המזרחי היורד אל הערבה תלכידי נחלים ומשקעי אגמים של תצורת ערבה (אבני, 1998). במקביל הושקעה

תצורת אחוזם במפנה הצפוני מערבי היורד אל הים התיכון. לכיוון זה השתפלו פני השטח במתינות אל הים הפליוקני שבו שקעה תצורת פלשת (זילברמן, 1991). בשלב זה נוצרה מצפון לקמר רמון המדרגה המורפולוגית הנמוכה של רמת ברנע . מדרגה זו נמשכת מערבה אל אזור קסימה שבסיני.

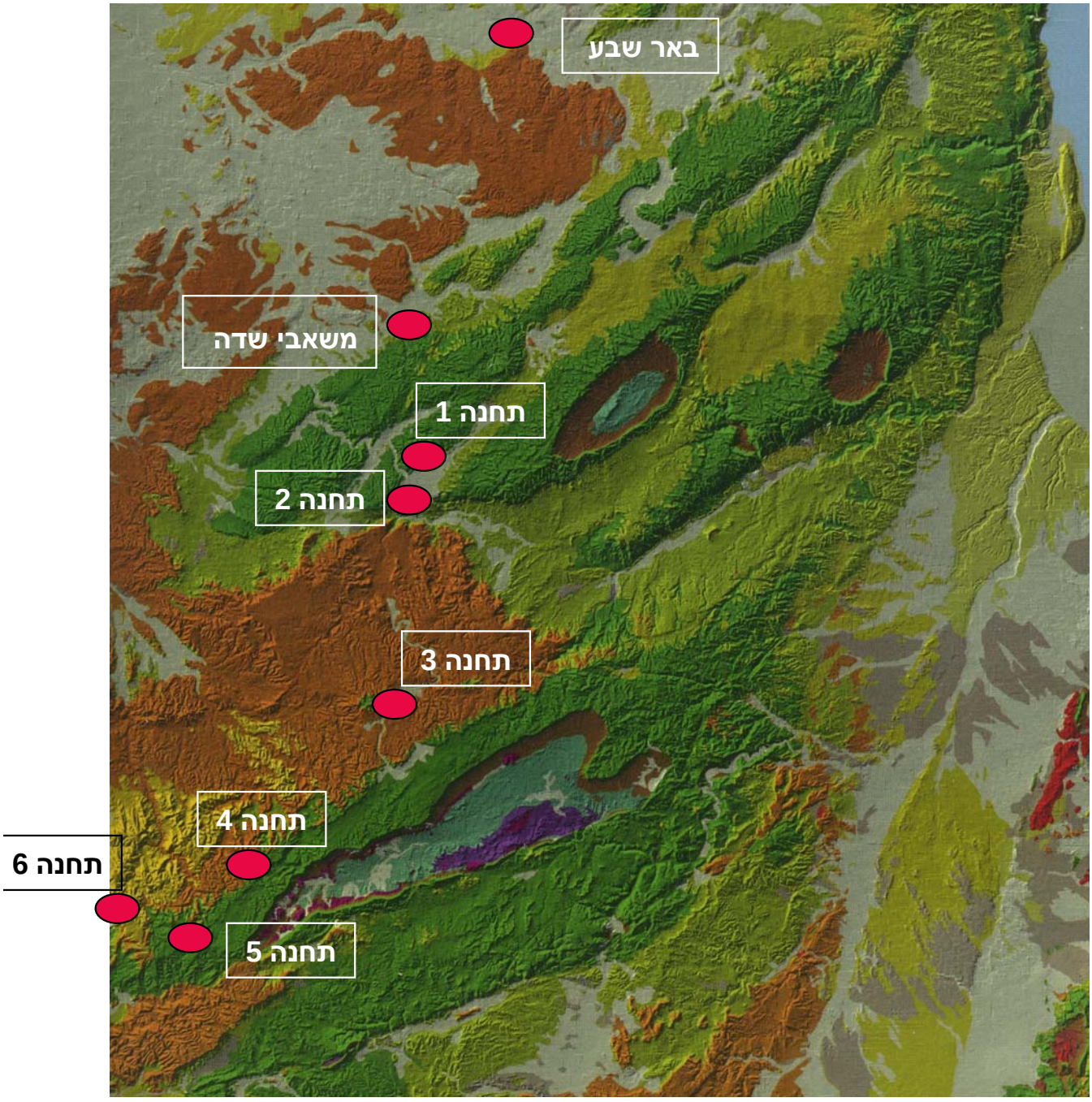
פאזה טקטונית רגיונלית התרחשה בפלייסטוקן המוקדם (אבני, 1998) ובמהלכה הורם שוב הר הנגב והוטה מזרחה תוך יצירת מבנה קימרוני המכוון בציר צפון-דרום באורך גל של 80-60 ק"מ ובמשרעת אנכית של מאות מטרים. ציר המבנה הקימרוני חופף כמעט את הגבול שבין אגן הניקוז של ואדי אל עריש ונחל פארן והוא נמשך אל הר הנגב המרכזי בקו העובר בין הר שגיא והר רמון. המשכו לצפון נמשך אל שוליה המערביים של רמת מטרד, הר בוקר והר קרן. הקימרון הוא א-סימטרי ולו אגף מזרחי רחב ואגף מערבי צר. האזור שממזרח לקו זה נשבר במערכת שבירה אינטנסיבית המכוונת לצפון מזרח. השבירה ניכרת בכל חתך הסלעים לרבות בתצורת הערבה הפליוקנית (אבני, 1998) ומעידה על מרכיב של מתיחה הפועל בשולי בקע הערבה. במקביל התעמקה הערבה והפכה לשקע מורפוטקטוני מודגש. האזור שממערב לציר הקמרוני הוטה למערב אל אגן מרכז סיני. קמרון זה מרים על גבו את מערך המבנים הקדומים ובהם מבני הקשת הסורית וקווי הגזירה נגב מרכז סיני והוא אף יוצר מודיפיקציה של המבנה הפליוקני רחב המימדים שקדם לו. שילוב זה יצר מערך חדש של התאמות ושינויים במערכות הניקוז של הנגב וסיני המגיבים על האילוצים הטקטוניים החדשים. התגובה המורפוטקטונית שהתבצעה בפועל בנוף האזור נגזרת מהשקול שבין הנטייה הטקטונית החדשה מחד, ומהאילוצים שיוצרים תוואי ניקוז פליוקניים קדומים שנחתרו במקומות רבים לעומק רב שלא איפשר במקרים רבים למערכות הניקוז "לצאת מכליהם". שינויים משמעותיים באגני הניקוז התרחשו רק בנקודות תורפה מורפולוגיות כמו במזרח אגן כרכום, שבו פרץ נחל פארן נתיב חדש אל הערבה, או בשוליה המערביים של בקעת צין שבו חלו שינויי ניקוז גדולים בין אגני נחל הבשור ונחל צין (ראה להלן, תחנה 2). באגן ואדי אל עריש מאובחנת בשלב זה התחזקות גדולה של הכוחות הארוזיביים אשר יצרו התחתרות לעומק של יותר מ- 100 מ' מתחת למפלס הנוף הפליוקני תוך כדי הטייה למערב של מערכת הניקוז אל אגן מרכז סיני. שינויים אלה הביאו במהלך הפלייסטוקן לניתוק קווי ניקוז פליוקניים שניקזו את אזור קסימה בסיני אל אגן נחל ניצנה (זילברמן, 1991). תופעה זו תודגם בתחנה 6. בדרומו של הר הנגב הביאו תהליכים טקטוניים אלה להתחתרות אינטנסיבית של יובלי ואדי אל עריש בחתך הרגיש לסחיפה של חבורת הר הצופים ולכיבוש שטחים מאגנו העילי של נחל פארן (אבני, 1998). הנוף הנוכחי מגיב עדיין בהתחתרות אינטנסיבית על ההרמות הטקטוניות הצעירות. התחתרות זו מתבצעת בריטמוס המושפע משינויי האקלים שחלו באזור במהלך הפלייסטוקן והמכתיבים פאזות של השקעה זמנית על רקע המשך הפעילות הארוזיבית.

3. תחנות הסיור

יציאה ממשאבי שדה דרומה על כביש 40 לכיוון שדה בוקר ומצפה רמון. הישובים משאבי שדה וטללים ממוקמים על המורדות הצפוניים של קמר רמת בוקר הנראה מדרום באזור החשיפה של יחידות מחבורת הר הצופים. לכיוון צפון מתפתח קער רביבים הבנוי מיחידות של חבורת עבדת המכוסות בחולות שחדרו לאזור בסוף הפלייסטוקן ובהולוקן. דרומה לצומת טללים חוצה הכביש את מחשופי חבורת הר הצופים וחודר אל חלקה העליון של חבורת יהודה – תצורות נצר, שבטה דרורים ותמר. הכביש המחבר את צומת טללים עם שדה בוקר נפרץ בשנות ה- 70 של המאה הקודמת על תוואי של דרך קדומה – דרב' אום

חרובה - הקרויה על שם עץ חרוב גדול ממין נקבה הצומחת באפיק נחל באר-חיל ושצמרתו נראית מן הכביש. הדרך הקדומה והכביש מנצלים מבנה קערי קטן החוצה את קמר רמת בוקר. על ציר הקער נשמרו ממזרח לכביש משארים של תצורות מנוחה ומשאש ועליהם חתך של קונגלומרט המזוהה עם קונגלומרט הבסיס של תצורת חצבה (זילברמן, 1991). בגבעות שמשני צידי הכביש פזורים מאות גזעים מצוררים של עצים שמקורם בבסיס תצורת נצר המעידים על תנאי השקעה רדודים במיוחד שהתקיימו באזור בסוף הטורון (אבני ושש, 1987). בין קמר רמת בוקר וקמר חלוקים הנראה מעט דרומה נמצא הקער של נחל בוקר. משני צידי הכביש מצויים שרידיהם של מבנים מבוצרים מתקופת הברזל (המאה ה- 8-10 לפני הספירה) המיוחסים לפעילות הישראלית

תחנות הסיור



הקדומה בהר הנגב. בסמוך אליהם, בעמק נחל בוקר המרופד במשקעי לס מתקופת הקרח האחרונה (70 – 20 אלף שנה) הוקמו לאחרונה שתי חוות קטנות המגדלות כרמי ענבים וזיתים. הכביש עולה דרומה על קמר חלוקים שבו חשוף החתך הטורוני – בעיקר תצורות שבטה ונצר ובא אל מצפה חגי הממוקם בשיפולים הדרומיים של קמר חלוקים.

תחנה מספר 1 : תצפית ממצפה חגי על אגן שדה בוקר (נ.צ. 1800/5331)

מצפה חגי ממוקם על גבעה ממערב לכביש, כ- 500 מ' מצפון לצומת חלוקים. המקום מוקדש לזכרו של חגי אבריאל, מחלוצי הנגב, שהיה היוזם והמקים של קיבוץ שדה בוקר והישוב מצפה רמון.

בתצפית נראים רכסי הקימוט של הנגב הצפוני - קמר חלוקים ושוליו הדרומיים מערביים של קמר חתירה, מישור שדה צין הממוקם על ציר הנחיתה לדרום מערב של קמר חתירה המשתלב עם הקער שבין קמר חתירה לקמר חלוקים, וכן הקער הנרחב של רמת עבדת הממוקמת כלפי דרום. על רקע הנוף הרמתי השטוח של רמת עבדת בולטים במרחק שני מבנים קמרוניים קטנים – הר נפחה והר סעד – שהתפתחו כמבנה לחיצה לאורך קו השבירה סעד-נפחה החוצה את רמת עבדת במרכזה. בהר נפחה ממוקמת תחנה מס' 3 בסיור. כלפי דרום ניגשת רמת עבדת אל שיפוליו הצפוניים – מערביים של קמר רמון המהווה את המבנה הגיאולוגי הגדול והנרחב בנגב המרכזי. לחלקו המערבי של מבנה רמון מיוחד רוב רובו של הסיור. במבט לדרום נראה המישור הרחב של שדה צין שעליו הוקמו קיבוץ שדה בוקר ומדרשת בן גוריון. מעבר לשפת המישור בולט מצוק הצינים המסמן את סיומה החד של רמת עבדת כלפי צפון,אל עבר עמק נחל צין העמוק החוצץ בין מישור שדה צין ורמת עבדת. קו המצוק הנראה בתצפית מסמן בקירוב את מיקומו של קו השבירה העיקרי באזור הידוע כקו צין וכיוונו המקורב מזרח-מערב. תחנה מס' 2 בסיור ממוקמת על קו צין כ- 500 מ' ממזרח למדרשת בן גוריון.

בוואדי הסמוך מצד מערב נמצאו שרידיו של כפר גדול הכולל מסגד שנבנה בתקופה המוסלמית הקדומה (המאות השביעית עד לתשיעית לספירה). קיבוץ שדה בוקר הנראה בחזית עלה על הקרע במאי 1952 והיה לישוב היהודי הראשון במרחב זה אחרי 2800 שנה, כשהוא מחדש את הישוב הקדום מן התקופה הישראלית (חורבת חלוקים) הממוקם מעט ממזרח.

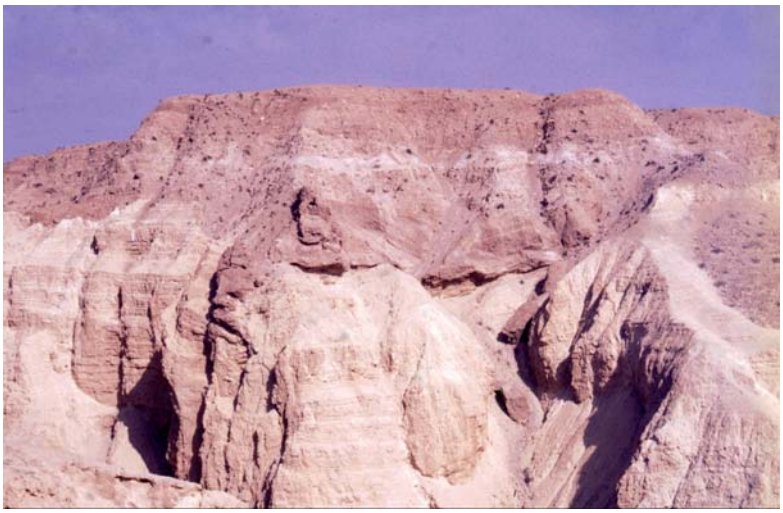
תמונה 1

תצפית ממצפה חגי אל קיבוץ שדה בוקר ושדה צין. ברקע המרוחק – רמת עבדת ומצוק הצינים.

אירוזיביות ומערך השבירה של קו צין בשדה צין (נ.צ. 1801/5292)

הגישה לתחנה ממדרשת בן גוריון. הולכים כ- 500 מ' מזרחה על שפת המצוק התוחם את שדה צין מדרום. המצוק שגובו כ- 120 מ' יורד בתלילות אל אפיק נחל צין שלמטה.

החתך הגיאולוגי והמורפוסטרטיגרפי של שדה צין ויחסו למערך השברים של קו הצין נלמד לאחרונה מחדש (Avni et al., 2005) תוך שימת דגש על עיגון החתך במערך הסטרטיגרפי והמורפוטקטוני של הנגב. במסגרת זו נבחנו מחדש מחשופים שתוארו בעבר במחקרים שונים ובהם Issar et al. (1984); Enzel and Kaplan, (1988) וזילברמן (1991). המחקר החדש איתר גרבן שהתפתח בין שני שברים תת מקבילים של קו צין



תמונה 2. *תעלת הקונגלומרט*

ואשר שימר בתוכו שתי תעלות ארוזיביות קדומות ובהם חתך אלוביאלי. גובה בסיס התעלות כ- 30 מ' מתחת לפני השטח של שדה צין, בגובה טופוגרפי של כ- 440 מ' והם מכוונות לצפון ולצפון מזרח. בתעלה המתגלה בחזית המערבית של הגרבן (המכונה להלן "תעלת הקונגלומרט") נשמר חתך קונגלומרטי קדום בעובי כ- 15 מ' שבו מופיע ריכוז גבוה (עד כ- 10-20%) של חלוקי "צור היבוא" וחלוקי קוורציט מעוגלים היטב המעורבים בחלוקי גיר וצור תת מעוגלים שנגזרו מחתך חבורות יהודה, הר הצופים ועבדת. בחלק מן החתך החלוקים צפים במטריקס של חול קוורץ צהוב – לבן ומלוכדים בקרבונט ובחלק הם תמוכי חלוקים וחסרי ליכוד. המקור של חלוקי "צור היבוא" והקוורציט הוא ככל הנראה חתכים סחופים של תצורת חצבה שכיסו בעבר את רמת עבדת והם הושקעו יחד עם חלוקי גיר וצור שמקורם בסלעי חבורות יהודה, הר הצופים ועבדת החשופים ברמת עבדת ושולי קמר רמון. חלקו התחתון של החתך מלוכד בקרבונט, כנראה בהשפעת מי מעינות שנבעו, אז כהיום,

בשוליים הצפוניים של רמת עבדת. הדופן המערבית של תעלת הקונגלומרט שבורה על ידי שבר קטן שכיוונו צפון-מערב – דרום מזרח והוא המקנה לחתך הנראה בתצפית את השיפועים החריפים המגיעים לכדי 15 -20 מעלות.

כ- 100 מ' לכיוון צפון מזרח מצויה תעלה ארוזיבית נוספת המתגלית בחזית הצפונית של הגרבן, מעברו הדרומי של ערוץ עמוק, המכונה "תעלת הפלאוסול". בתעלה זו, שגובה בסיסה זהה לזה שבתעלת הקונגלומרט, חשוף חתך משולב של חלוקים ושכבות קלסטיות חוליות – סילטיות דקות גרגר שצבעם חום-אדום. בחתך נמצאים מספר פאלאוסולים קלציים ובהם אופקים של תרכיזים קרבונטים מפותחים היטב. הקונגלומרט שבתעלה זאת דומה בתכונותיו לקונגלומרט שתואר מתעלת הקונגלומרט הסמוכה.

תמונה 3. *תעלת הפלאוסול*

מחשוף קונגלומרט, שבו מרובים במיוחד חלוקי הקוורציט, הדומה במאפייניו הליתולוגיים לזה החשוף בתעלות, זוהה על ידי זילברמן (1991) מעל למצוק של נחל דיבשון מעברו הדרומי של קניון נחל צין (נ.צ. 1802/5273). בחלקו הצפוני של המחשוף הנרחב המשתרע על יותר מ-800 מ' (נ.צ. 1802/5275), על שפת מצוק הצינים, חשוף חתך של פלאוסול הדומה בתכונותיו לזה שתואר מתעלת הפלאוסול. זילברמן (1991) יחס את מחשוף הקונגלומרט של רמת דיבשון לתצורת אחוזם מגיל פליוקן.

שתי התעלות גדועות בגגן ומכוסות באופן כמעט אופקי על ידי יחידת קונגלומרט צעיר יותר בעובי 3-5 מ' המכיל גם הוא חלוקי צור יבוא וקוורציט אך בריכוז נמוך המוערך ב- 1-5% מכלל החלוקים. המטריקס של הקונגלומרט מורכב תערובת של חול קוורץ וליתוקלסטים. קונגלומרט זה מהווה את בסיס החתך הנרחב של שדה צין החשוף לאורך עמק הצין. קונגלומרט דומה מוכר גם מגבעות משאר במרכז שדה צין (גבעה נ.ג. 474) וממחשוף קונגלומרט הנמצא בצמוד לכביש בסמוך לכניסה למפער נחל הרועה (נ.צ. 1793/5315). בשני אתרים אלה נמצא הקונגלומרט מעל מפלס פני השטח הנוכחיים של שדה צין Issar et al. (1984); Enzel and Kaplan, (1988) וזילברמן (1991).

על פי מיקומו הסטרטיגרפי ועל פי התמעטות המרכיבים הממוחזרים מתצורת חצבה המופיעים בקונגלומרט, יש לראות בקונגלומרט זה יחידה אלוביאלית צעירה לקונגלומרט הממלא את התעלות שבגרבן. זילברמן (1991) קושר את הקונגלומרט הזה לשלב צעיר של תצורת אחוזם הפליוקנית. העובדה שהקונגלומרט הזה שקע על גבי מישור ארוזיבי הגודע את התעלות הקדומות ונמשך כמעט ללא הפרעה אל מחוץ לגבולות הגרבן קובעת כי עיקר הפעילות הטקטונית על שברי הגרבן התרחשה בשלב המקדים את השקעת הקונגלומרט הצעיר של תצורת אחוזם.

באזור הגרבן מונחת מעל שכבת הקונגלומרט יחידה של חוואר לבן – אפור בעובי 1-2 מ' עשירה בליתוקלסטים וחלוקים קטנים, שהורבדה ככל הנראה בגוף מים בעל השתרעות מוגבלת שהיה באזור. מעל חתך זה שקע חתך חלוקים עבה המרובד לחילופין עם שכבות סילטיות דקות גרגר בגוון אפור – חום שבהם התפתחו מספר אופקי פלאוסול המכילים תרכיזים קרבונטים בדרגת התפתחות בינונית. חתך זה הוגדר על ידי Issar et al., (1984) כתצורת שדה צין. עובי יחידה זאת משתנה לאורך מצוק שדה צין בין 5 ל- 15 מ' והיא מכילה כלים אשליים קדומים שגילם מוערך בכמיליון שנה(Issar et al., 1984 ; גורניג-מוריס ורוזן, דברים בע"פ, 1987 אצל זילברמן, 1991).

בחלק העליון של החתך של תצורת שדה צין אובחנה התמעטות במרכיב הקונגלומרט ועליה בכמות אופקי החומר האלוביאלי דק הגרגר. בחלק העליון של החתך נמצא המעבר המגנטי Bruins – Matuyama

שהתרחש לפני כ- 780 אלף שנה (Enzel and Kaplan., 1988). מעל אזור זה בחתך נלקטו כלים אשליים עליונים ומוסטריים שגילם מוערך בחצי מליון שנה עד 100,000 שנה (Enzel and Kaplan, 1988). בגג היחידה התפתח מישור אי התאמה מכוסה בקרום גירני פדוגני (קלקריט) (Issar et al., 1984) המבטא הפסקה ארוכה בתהליך הצטברות החתך.

נראה שתצורת שדה צין שקעה במהלך הפלייסטוקן על גבי מישור ארוזיבי נרחב שהתפתח בגג תצורת אחוזם. היחידה עבה בדרום ודקה בצפון שדה צין, עובדה המעידה על הטייה כללית של שדה צין אל קו הצין בזמן הרבדת התצורה. במקביל מאובחנים ביחידה זו אנדולציות טקטוניות שהתפתחו לאורך סגמנטים של קו צין וגם אלה מעידים על פעילות טקטונית חלשה לאורך הקו בפלייסטוקן. התמעטות המרכיב הקלסטי הגס במעלה החתך של תצורת שדה צין פורש כעדות לניתוק אגן שדה צין ממקורות ההספקה הפלוביאלית כתוצאה מהתחתרות קניון נחל צין ששבה את אגן הניקוז העילי של נחל בשור (Enzel et al., 1988; זילברמן, 1991).

קרומי הקלקריט מבטאים הפסקה בתהליך ההרבדה בשדה צין עקב ניתוק אגן שדה צין מרמת עבדת במהלך הפלייסטוקן התיכון. על גבי הקרומים הללו שקעה בפלייסטוקן העליון יחידה של לס פלוביאלי שמקורה באבק ששקע על פני שדה צין ועבר הובלה והרבדה מקומית. היחידה תוארה בהרחבה על ידי Issar et al., (1984) ו- Bowman et al, (1986) שכללו אותה בתצורת נתיבות. גיל היחידה כ- 70- 20 אלף שנה והיא הצטברה במהלך תקופת הקרח האחרונה. כיום עובר חתך הלס תהליכי דפלציה וסחיפה משולי אגן שדה צין ששטחו הולך וקטן עקב התפתחות מהירה של ערוצים בשוליו.

סיכום התחנה

א. משטרי זרימה ואקלים

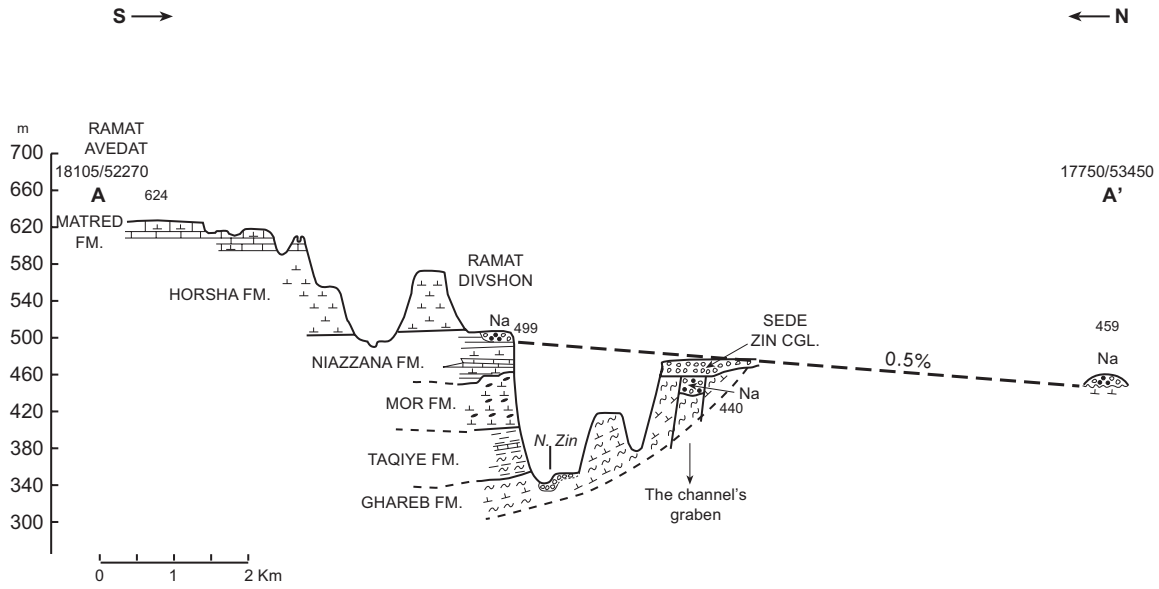
שתי התעלות שנמצאו בתוך הגרבן מבטאות משטרי הובלה שונים: הקונגלומרט הגס שבתעלות הובל ברמת אנרגיה גבוהה והחתך החולי-סילטי שבתעלת הפלאוסול הושקע כאשר האנרגיה במערכת יורדת וכושר ההובלה של התעלות מצטמצם להובלת מרכיבים קלסטיים דקי גרגר. מאחר ששתי התעלות מצויות על מפלס מורפוסטרטיגרפי אחד נותרה פתוחה השאלה אם ההבדלים שבין התעלות משקפים שינויים פאציאליים בו זמניים (הקונגלומרט ממלא תעלה פעילה בעוד שהחתך הדק שקע בתעלה נטושה) או שהשוני בין התעלות משקף שינויי אקלים שחלו במהלך הפליוקן ושהתרחשו במצב של יציבות מורפוטקטונית שאפשרה התחתרות ומילוי של מספר תעלות לאורך זמן במשטרים אקלימיים שונים.

ב. שיחזור הדפורמציה הטקטונית לאורך קו צין

בסיס החתכים שבשתי התעלות נמוכים בשיעור של כ- 50 מ' בהשוואה לבסיס מחשוף הדומה להם פאציאלית ברמת דבשון. מחשוף נוסף של קונגלומרט הדומה בתכונותיו למחשוף רמת דבשון אותר על ידי זילברמן (1991) במוצא נחל הרועה אל נחל בוקר, כ- 8 ק"מ מצפון-צפון מערב לרמת דבשון (נ.צ. 1775/5345, נ.ג. 459). השיפוע המשוחזר בין מחשופי קונגלומרט אלה שמשני עברי הגרבן מגיע ל - 0.5%. הטלת קו החתך המשוחזר על אזור הגרבן מראה כי הקונגלומרט הדומה שבגרבן הונמך בכ- 40 מ' ביחס לקו המשופע המחבר את המחשופים שמחוץ לגרבן. המיקום המונמך של מחשופי הגרבן מתעד את הפעילות הטקטונית על קו צין שעיקרה התרחש בפליוקן ומיעוטה בפלייסטוקן. הפעילות הפלייסטוקנית

מתועדת על ידי העובי העודף של תצורת שדה צין בדרום שדה צין ביחס לאזור שבצפונו הנמצא במורד הזרימה (זילברמן, 1991). בהנחה שבפלייסטוקן היתה הטיה דרומה המתבטאת בעודף חתך המוערך בכ - 10 מ', הרי שרכיב השבירה על שברי קו הצין עומד על כ- 30 מ' והשאר הוא הטיה ואולי שבירה מפוזרת.

עדויות אלה על שבירה צעירה לאורך שבר צין מוסיפות נדבך נוסף בהבנת הפעילות הטקטונית הצעירה על "שברי הרוחב" בנגב.



איור 1. ***חתך מרמת עבדת (A) למפגש נחל הרועה עם נחל בוקר('A) דרך אזור שדה צין***

ג. הקשר לאירוע "כיבוש נחל בשור על ידי נחל צין"

מחקרים קודמים תיארו בהרחבה את אירוע הכיבוש של נחל הבשור העילי על ידי נחל צין. רוב התיאורים התמקדו בתפקידו של נחל צין העליון אשר התחתר לאחור עד שכבש את אגנו העלי של נחל הבשור. תיאורים אלה התעלמו מבעיה עקרונית חשובה: בין נחל צין ונחל בשור עליון הייתה ממוקמת פרשת מים וזו מהווה, מעצם הגדרתה, חסם לפעילות גיאומורפולוגית שהרי הכוחות הארוזיביים באזור פרשת המים הם חלשים.

השילוב של שבירה והטיה דרומה של חתך שדה צין, כפי שתוארו לעיל, מעלה אפשרות נוספת העשויה להסביר את השינוי המורפולוגי הגדול שהתרחש באזור שדה צין. הדפורמציה הטקטונית בפלייסטוקן המוקדם שיבשה את מהלכו של נחל הבשור הקדום שכלל בשלב זה גם את אגני נחל עקב, נחל דבשון ונחל חוואר שתפקדו כיובלים ראשיים ושהתכנסו אל שדה צין. החתך העבה של תצורת שדה צין הכולל ריבוי של יחידות דקות גרגר מתעד את שלב המילוי של האגן הסדימנטארי של שדה צין בשל התבדרות השיטפונות על פני שטח נרחב ששיפועיו שובשו טקטונית. ההטיה של אזור שדה צין לדרום מזרח גרמה להתעבות החתך בקרבת שבר הצין העובר בדרום האגן והביאה להקטנת שיפועי הזרימה ולטשטוש הסף הטופוגרפי הנמוך ממילא שהפריד בין מערכות הניקוז של נחל צין ונחל בשור. עקב כך, עשוי היה שיטפון גדול שעבר באפיק נחל בשור לגלוש מזרחה אל מעבר לפרשת המים הנמוכה שהתקיימה במזרח שדה צין.

שיחזור פרשת המים מראה כי היא עברה בקו המחבר את חוד עקב עם הר צרור וכי היא הייתה מיוצבת על גבי סלעי תצורות ע'רב וטאקיה הנוחים להתחתרות. שיטפון זה גלש אל מעבר לפרשת המים וחבר אל אגן נחל צין שבמזרח אגב חתירה מהירה של קניון שנסוג בהדרגה אל מיקומו הנוכחי בקרבת עין עבדת.

מצב דומה מאוד של שינויים מורפולוגיים דרמטיים תועד באגן נחל פארן (אבני, 1998). נחל פארן פרץ למזרח אל הערבה דרך האזור שבמזרח אגן כרכום בנצלו נקודת תורפה מורפולוגית והטיה טקטונית רגיונלית שהתרחשה בנגב בפלייסטוקן המוקדם (אבני, 1998). בהקשר זה יש לציין כי קיימים קווי דמיון גדולים בין תצורת צחיחה מגיל פלייסטוקן מוקדם שתוארה בנגב הדרומי (גינת, 1997) ובין תצורת שדה ציין שלחלקה התחתון נקבע גיל דומה.

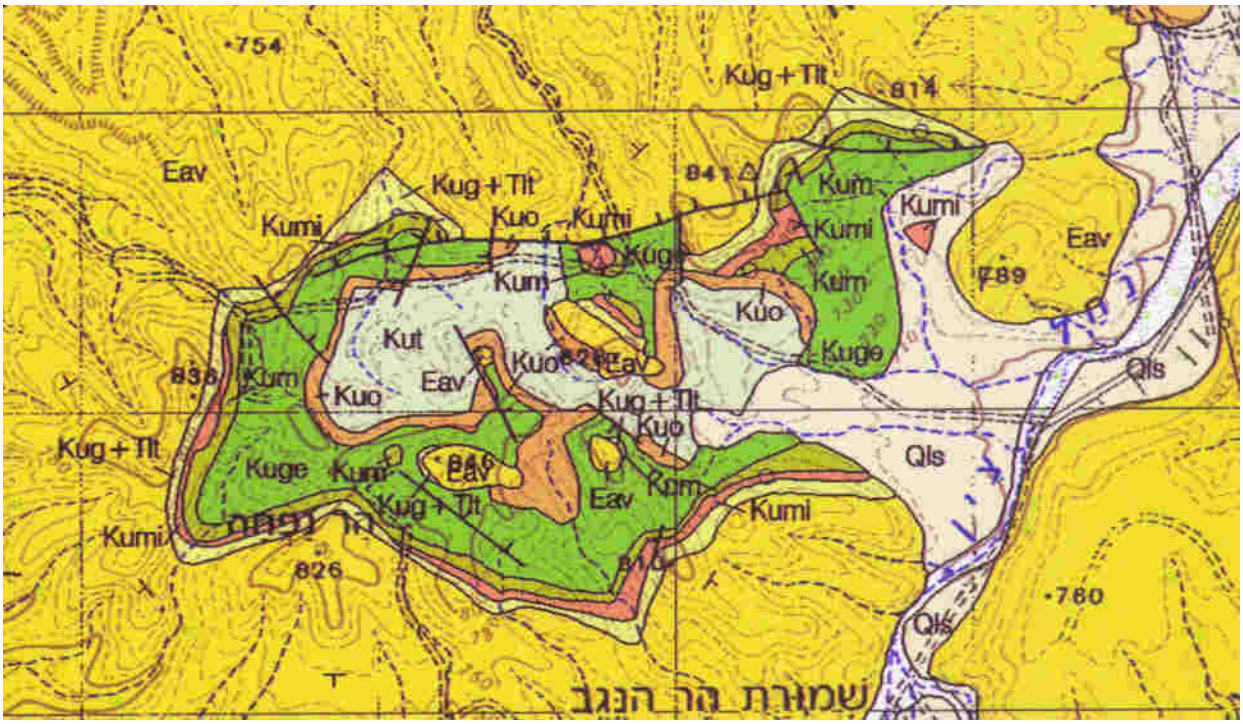
על פי שיחזור זה, נראה שנחל בשור עליון חבר אל נחל צין ולא נכבש על ידו היות והתהליכים הגיאומורפולוגיים התרחשו כמעט כולם באגן נחל הבשור הקדום מבלי שהיה לנחל צין תפקיד אקטיבי באירוע דרמטי זה.

תחנה מספר 3 : הר נפחה וקו סעד נפחה (נ.צ. 1773/5117)

הגישה לתחנה מדרך עפר המסתעפת מערבה מכביש 40 לאחר שחוצים את עמק נחל צין מדרום לרמת נפחה. נוסעים בדרך מערבה עד למקום שבו הדרך נחתכת על ידי אפיקו הפעיל של נחל צין. במקום זה האפיק חשף שני סכרי הטיה – האחד קדום, כנראה רומי-ביזנטי והוא בנוי מאבנים מסותתות למחצה המחוברות זה לזה במלט קדום והשני סכר אבנים המעורמות באפיק הנחל. שני הסכרים הטו את מי השיטפונות שירדו במורד נחל ציין אל חוות נגר גדולה שנבנתה על הגדה הדרומית של נחל ציין. סכר האבנים היה בשימוש הבדווים שהשקו את החווה החקלאית עד שנות ה- 50 למאה הקודמת.

חוצים את אפיק נחל ציין ועולים לאורך שלוחה נמוכה אל בור המים הממוקם על המדרון (נ.צ. 1773/5117).

מנקודה זו תצפית יפה על חלקו המרכזי של מבנה הר נפחה. האזור מופה לראשונה בקנ"מ 1:50,000 על ידי זילברמן (1977). מפה זו שולבה לאחרונה בגיליון מצפה רמון שראה אור לאחרונה (זילברמן ואבני, A 2005). מבנה הר נפחה הוא מבנה קמרוני בגודל 4 על 2 ק"מ שבמרכזו חשופות יחידות מחלקה העליון של חבורת יהודה – תצורות תמר, אורה וגרופית, ומעליהם במגעים של אי התאמה יחידות של חבורת הר הצופים ועבדת.

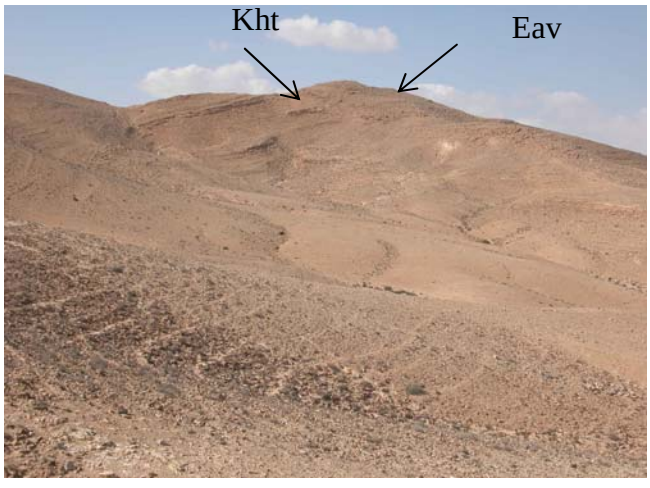


איור2. מפה גיאולוגית של הר נפחה. מתוך זילברמן ואבני, 2005.

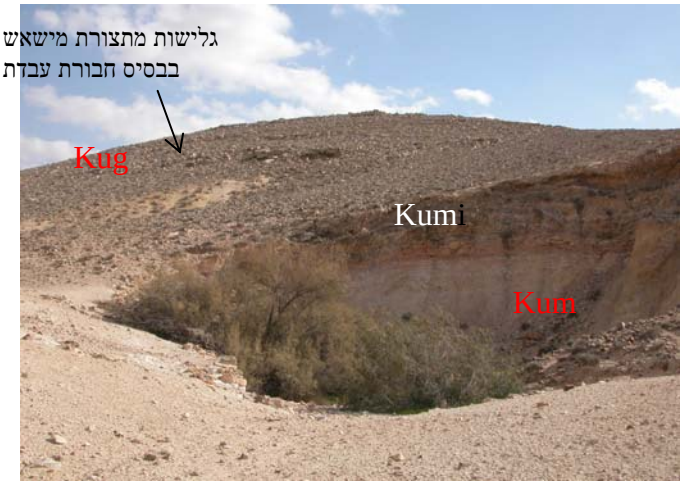
ככלל, אי ההתאמות חלשות בשולי המבנה וניכרות במרכזו. אי ההתאמה המרבית ממוקמת משני עברי גבעה נ.ג. 826 (נ.צ. 1768/5122) שבמרכז המבנה. במקום זה מונח חתך של חבורת עבדת על גבי חתך גדוע של תצורת תמר.

מיקום תחנה 3 הוא על שפת בור מים שנחפר בדופן הדרומית-מזרחית של מבנה הר נפחה. החתך כולל חתך מצומצם של תצורת מנוחה, מישאש וע'רב. מעל תצורת ע'רב מונח באי התאמה בסיס חבורת עבדת המכיל גושי סלע של תצורת מישאש. זילברמן (1977) פרש חתך מיוחד זה בגלישות סלע גדולות שגלשו משולי מבנה רמון והושקעו בבסיס חתך חבורת עבדת באזור הר נפחה.

תמונה 4. *גבעה 826*



תמונה 5. *חתך בור המים*



העובדה שבהר נפחה מתחזקת מגמת הגידוע אל מרכז המבנה מחזקת את ההנחה שמבנה זה התקיים בזמן השקעת חבורות הר הצופים ובסיס חבורת עבדת כמבנה עצמאי הממוקם מעט מצפון למבנה הראשי של

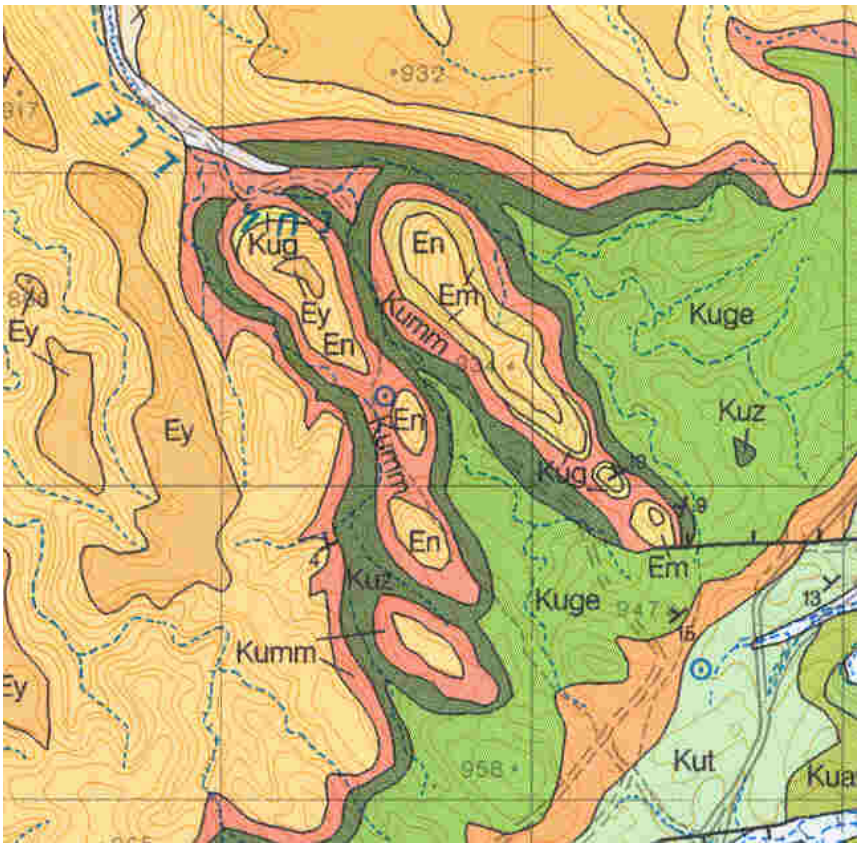
קמר רמון ובמנותק ממנו. אי ההתאמה במרכז קמר הר נפחה, בין חלקה העליון של תצורת תמר ובין החלק התחתון של חבורת עבדת, עולה בכ- 50 מ' על עוצמת אי ההתאמה המוכרת משולי מבנה רמון המצוי כ- 5 ק"מ דרומה יותר לכיוון ציר קמר רמון. יש לציין כי חבורת הר הצופים מצטמצמת ונעלמת אל מרכז מבנה הר נפחה כמו אל שולי מבנה הרמון ולכן לא נלקחה בחשבון בהשוואת עוצמת הגידוע בין האזורים הנזכרים. עובדה זו מבטלת את האפשרות שתופעות אי ההתאמה שתוארו בהר נפחה קשורות לשולי מבנה רמון.

היות וקמר הר נפחה ממוקם לאורך שבר סעד נפחה ומהווה מבנה לחיצה שהתפתח לאורכו (זילברמן, 1977) הרי שהדבר מעיד כי שבר זה היה פעיל כבר בסנון ושלאורכו התפתחו מבני לחיצה מקומיים שנגדעו עמוקות. במקביל התפתח גם קמר רמון שצירו מרוחק כ- 15 ק"מ לדרום מזרח. בתחילת האיאוקן היה קמר רמון גבוהה סטרוקטורלית מאזור הר נפחה ומיקום יחסי זה איפשר לגלישות סלע גדולות שירדו ממבנה רמון למקם גושים גלושים של תצורת משאש על מורדות מבנה הר נפחה.

חוזרים אל הרכב ויוצאים לכביש מצפה רמון. נוסעים כ- 5 ק"מ לצומת הרוחות. פונים מערבה בכביש המוביל אל בה"ד 1 והר חריף. חולפים על פני בית הספר לקציניים ונוסעים כ- 20 ק"מ למערב – דרום מערב במקביל לשולי מבנה רמון. מצפון מערב לכביש ובמקביל לו חשופות יחידות מחבורת יהודה ועליהם במגעי אי התאמה יחידות מצומצמות של חבורת הר הצופים ועבדת. בולטת במיוחד תצורת מישאש המופיעה כדרגש כהה החוצץ בין הקרבונטים הקשים של חבורת יהודה שמתחתיו וסלעים דומים של חבורת עבדת שמעליו. כ- 12 ק"מ לאחר הפניה בצומת הרוחות חולפים מעל לבור חמת – בור מים שנבנה בתקופת הברזל לפני כ- 3000 שנה ומתפקד עד היום. בסמוך לבור ובוואדי שמדרום ריכוז יפה של עצי אלה אטלנטית צעירים ובוגרים. מעט אחרי בור חמת חוצים את אפיק נחל ניצנה הפונה לצפון. הלאה, לאורך כ- 6 ק"מ הכביש מתפתל במקביל לאפיק נחל ניצנה הנחבא בין הגבעות. נחל ניצנה חתור עמוק בתוך סלעי חבורת יהודה כשהוא מנצל מספר קווי שבירה מקבילים בכיוון מזרח-מערב המתווים את כיוון הנחל בקטע זה.

תחנה מספר 4 : אי התאמות בשולי מבנה רמון בראש נחל דורבן (1663/4970)

הגישה לתחנה מכביש צומת הרוחות – הר חריף בנקודה הנמצאת כ- 500 מ' ממזרח לתחנה. בחתך הכביש, בנ.צ. 1669/4969, מופיע דרגש פרומן שבתצורת אורה במופע מיוחד. הדרגש בנוי מקלק-ארניט וגיר איאוליטי והוא צבוע בתחמוצות ברזל בצבע חום-סגול. חללים קארסטיים בסלע מלאים בקלציט. מעל הדרגש מופיעה שכבת פצלים אפורים ועדשה של חול צהוב-לבן. החול שבמחשוף זה שונה ממחשופים אחרים המוכרים במיקום זה בחתך בהיותו מכיל מאסף מיוחד של מינרלים מטמורפיים שנגרפו לאזור בטורון המוקדם, כל הנראה מכיוון דרום מערב (אבני, 1991).



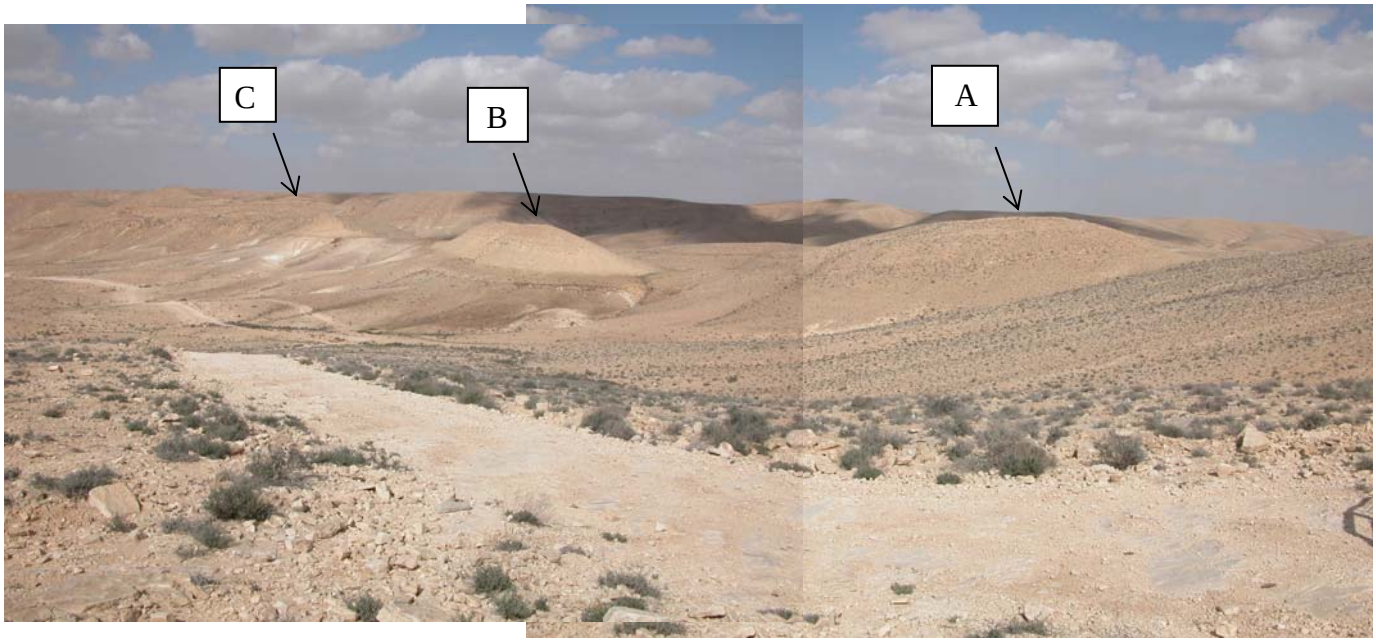
איור 3. מפה גיאולוגית של אזור נחל דרבן (מתוך אבני, 2001).

מטפסים על המדרון שלמעל לכביש בכיוון כללי למערב. המדרון בנוי מגירים מיקריטיים של תצורת גרופית. באזור זה נמצא סיומו של שבר שכיוונו מזרח – מערב המגיע מכיוון מכתש רמון. בקצה השבר התפתח מבנה פלקסורלי מונמך שבו הצטבר חתך מצומצם של חבורת הר הצופים. בחתך זה נמצאו מעברים מהירים מחתך גדוע וחסר לחלוטין שבו מונחת תצורת מור מגיל איאוקן מוקדם על גבי תצורת גרופית (בגבעה הדרומית) בעוד שבגבעה הצפונית המרוחקת כ- 300 מ' לצפון מערב, מונחות תצורות ציחור, מנוחה, מישאש וערב, בעובי כולל של יותר מ- 30 מ', על גבי תצורת גרופית. תצורת מור ומעליה תצורת ניצנה סוגרות על החתך בשתי הגבעות.

בחתך זה מרובות תופעות אי ההתאמה הן הארוזיביות והן הזויתיות. תצורת ציחור החסרה בגבעה הדרומית (גבעה A) מופיעה בעובי של כ- 10 מ' בגבעה הצפונית (גבעה C). התצורה בנויה ממספר דרגשים של גיר חווארי המכילים מאסף עשיר של צדפים, שבלולים וקיפודי ים. מופע זה כונה בשעתו "תצורת קודייפי" על ידי בן-תור ופרומן (1964). היחידה גדועה בגגה ומעליה מונחת תצורת מנוחה המגיעה לעובי של כ- 12 מ' בגבעה C ומצטמצמת עד להעלמות מוחלטת באזור גבעה A. בבסיס התצורה מופיעים גרגירי גלאוקוניט ושברי סלעים יחד עם מאסף עשיר של שיני דגים וכרישים קטנים. כלפי מעלה היחידה חוזרת להופעה קרטונית לבנה המוכרת מכל מחשופי התצורה שבאזור שולי מבנה רמון. גג התצורה גדוע ומעליו מונח אופק חולי המכיל מיקרו-קונגלומרט של חלוקי גיר וצור. מופע זה מוכר באזור מערב מבנה רמון והוא יוצר קונגלומרטים גסים במיקום דומה בחתך במעבר ערוד (גרפונקל, 1964) ובהר רומם (אבני, 1991).

מעל למישור אי ההתאמה וליחידות החוליות-קונגלומרטיות המלווה אותן מופיע חתך מצומצם של תצורת משאש הבנויה מברקציה של חצץ צורני בצבע חום-שחור. בגג הצור מונח קונגלומרט של חלוקים צורניים המצופים בקרום ברזלי עבה בצבע חום-אדום מתכתי. מופע מיוחד זה כונה "אדמה לטריטית" על ידי בן תור ופרומן (1951) וסטרינסקי (1964). קרומי הברזל נמשכים לכיוון גבעה A שם הם מצפים חתך גדוע של גג תצורת גרופית. לכיוון צפון, אל מורד הקער של עבדת, התופעה נמשכת לאורך כמה מאות מטרים ונעלמת בהדרגה.

תמונה 6. ***מבט על שלושת הגבעות (A-C) בראש נחל דרבן***



מעל לקרומי הברזל שבגג תצורת מישאש מונח באי התאמה שכבה דקה של חוואר צהוב עשיר בגרגירי גלאוקוניט ותרכיזי ברזל של תצורת ע'רב מגיל מאסטריכט. היחידה מופיע גם בגבעה B ונעלמת בהדרגה בתוך גבעה A. את החתך של חבורת הר הצופים סוגרת יחידה קרטונית-גירית צהבהב של בסיס חבורת עבדת הדומה במאפיינה הסדימנטולוגיים לתצורת מור, אם כי נעדרים בחתך זה עדשות הצור המאפיינות את התצורה במרבית מחשופיה. את טור הסלעים חותם גיר נומוליטים של תצורת ניצנה המופיע בהופעה כמעט זהה בכל הגבעות שבסביבה.

היחסים הסטרוקטורליים –סטרטיגרפיים של מחשופים אלה מלמדים על פלקסורה שהתפתחה בזמן הסנון באזור הסיום של שבר מזרח –מערב. פלקסורה זו יצרה אזור שקוע מעט על מורדות האגף הצפוני-מערבי של קמר רמון ובו שקע חתך מצומצם של יחידות שונות מחבורת הר הצופים. התופעות הפאציאליות המיוחדות שתוארו מתצורות מנוחה, משאש וע'רב מעידות על קיום אזור רדוד ביותר בים שהציף את שולי מבנה רמון. בים הרדוד שקעה תערובת של מרכיבים שנתרמו הן על ידי הים (קירטון, חוואר וצור) והן על ידי היבשה הסמוכה (חלוקים, אבני החול). אי ההתאמות מחריפות לכיוון דרום מזרח אל מעלה קמר רמון. יש בכך עדות לעמדתו המורמת של קמר רמון במשך זמן השקעת חבורת הר הצופים וחלקה התחתון של חבורת עבדת.

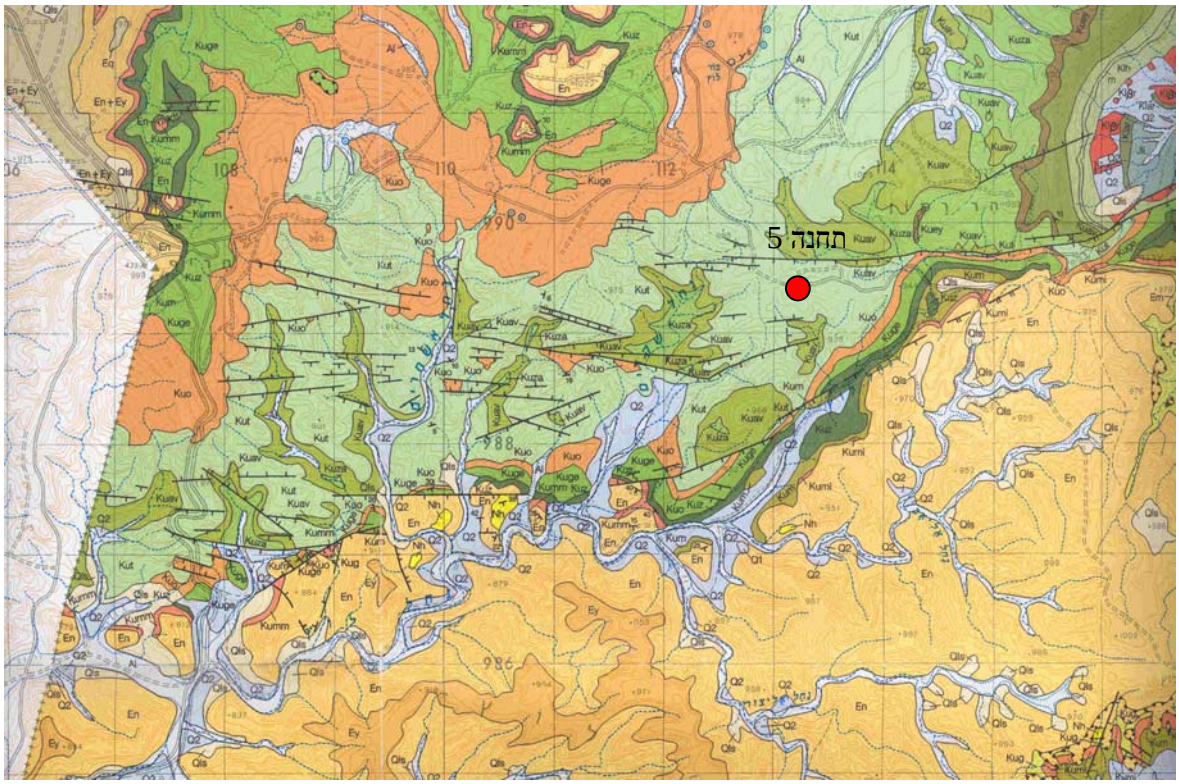
חוזרים אל הכביש ונוסעים מערבה כ- 8 ק"מ אל צומת דרכי העפר של בורות לוץ (צפונה) ומעבר ערוד (דרומה). בדרך חולפים עלפני היובלים העליונים של נחל ניצנה. מדרום נראית הפסגה של הר רמון (נ.ג. 1037) המסמנת את מיקומה של הפינה הדרומית מערבית של מכתש רמון ואת ההר הגבוה בנגב.

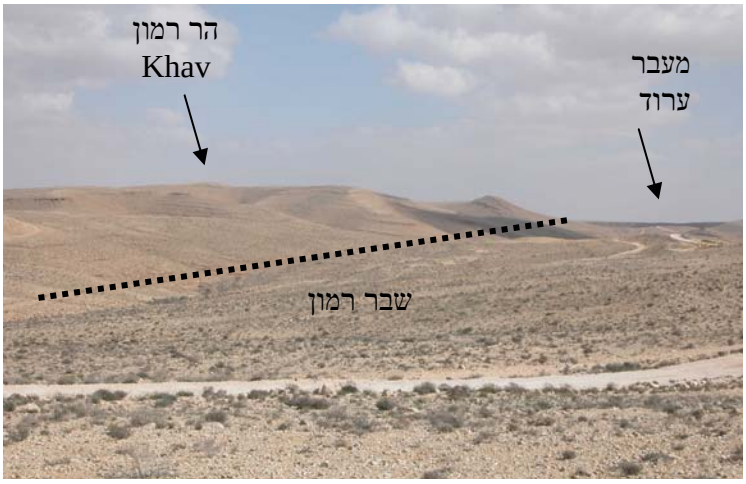
בצומת בורות לוץ פונים דרומה בדרך עפר לכיוון מעבר ערוד. תחנה מס' 5 נמצאת כ- 1.5 ק"מ בהמשך הדרך בראש גבעה הצופה אל נחל לוץ.

תחנה מספר 5 : תצפית על חלקו המערבי של קו רמון (נ.צ. 1633/4994)

בתצפית הממוקמת מעט מדרום לדרך העפר נראה היטב מערך המבנים והשברים המלווה את קו רמון ממערב למכתש רמון. לכיוון מזרח (תמונהA) נראית הפלקסורה השבורה היוצרת את המדרגה הטופוגרפית הראשית בנוף. על גבי מדרגת הנוף העליונה ממוקם הר רמון שפסגתו (נ.ג. 1037) מהווה את הנקודה הגבוהה ביותר בשדרת ההר של ארץ ישראל בין הרי אילת בדרום ורכס הר מירון בצפון. הפסגה בנויה מסלעי תצורת אבנון והכתף שמדרומה (נ.ג. 1033) בנויה מתצורת צפית. מדרום להר רמון התפתחה מדרגת סטרוקטורלית הנמוכה בכ- 50-70 מ' ביחס להר רמון והיא בנויה מסלעי חבורת עבדת הבונים את הטבלה הרמתית הכמעט שטוחה של הר לוץ. קו רמון המגיע מכיוון מכתש רמון מלווה את הפלקסורה הדרומית של קמר רמון שלאורכה מגעים של אי התאמות חריפות בין יחידות מחבורת יהודה ויחידות מחבורת הר הצופים ועבדת. שבירה במספר שלבים לאורך הפלקסורה מסבכת את היחסים הסטרטיגרפים והסטרוקטורליים שבמעבר ערוד ואלה טופלו על ידי גרפונקל (1964) ו- (Garfunkel, 1993).

איור 4. *מפה גיאולוגית של מערך השבירה של קו רמון ממערב למכתש רמון (מתוך אבני, 2001)*

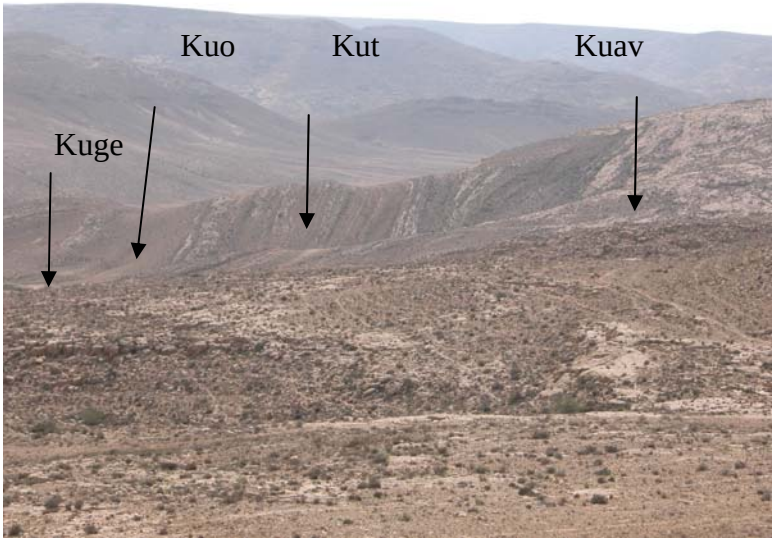




תמונה 7. *שבר רמון*

מערבה למעבר ערוד מתפצל קו רמון לשניים: הסעיף האחד (הנראה בתמונה 7) נמשך בכיון כללי מזרח – מערב , עובר למרגלות הר רמון ודועך מערבה מעט מערבה לדרך העפר שבה נסענו. הסעיף השני מתפצל מן הקו הראשון מעט מערבה למעבר ערוד ונמשך לכיוון דרום מערב במקביל לאפיק נחל לוץ. קו

זה יוצר סידרת מבנים פלקסורליים, חצאי כיפות וכיפות כדוגמת כיפת נחל לוץ הנראת בתמונה 8.



תמונה 8. *כיפת נחל לוץ*

הסגמנט הדרומי-מערבי של שבר רמון חוצה את כיפת נחל לוץ בשוליה הדרומיים מזרחיים ויוצר פלקסורות תלולות של יחידות מחבורת יהודה הנראות בתמונהB . מכאן הוא נמשך למערב בשוברו יחידות של חבורת הר הצופים ועבדת המלווים באי התאמות שהתפתחו על גבי הפלקסורות התלולות. מערבה לכיפת נחל לוץ מתפתח מבנה מונמך, מעין גרבן-סינקלינה שבו נמצאו קונגלומרטים מיוקניים של בסיס תצורת חצבה השבורים על ידי שבר רמון הנמשך מערבה.

מערך השבירה של קו רמון מערבה למעבר ערוד יוצר משפך רחב שאורכו כ- 10-9 ק"מ ורוחבו עד 3 ק"מ. בתוך משפך זה נמצאו מספר רב של שברים ושברונים, רובם מכוונים למערב –דרום מערב והם דועכים מערבה. במקביל נוחת מבנה רמון למערב אל עבר גבול סיני ומסתיים באזור ראס אל פרהודי, כ- 5 ק"מ מעברה לגבול. קו רמון מתבדר איפה בשוליו המערביים של מבנה רמון. למרות זאת, נראה שקו השבירה הדרומי ביותר נמשך אל ואדי לוצאן ויוצר בהמשכו את גרבן לוצאן שבו נמצאו חתכים עבים של תצורת חצבה שבורים ונטויים אל תוך הגרבן (ברטוב, 1974). מבני הלחיצה והמתיחה שלאורך קו רמון מחייבים רכיב של גזירה אופקית ימנית (גרפונקל, 1964; אבני, 1991)

אפיק נחל לוץ מתפתל לאורך קו המגע שבין האגף הדרומי של קמר רמון ובין השוליים הצפוניים של טבלת הר לוץ – הר המערה. טבלה זו הבנויה מחתכים עבים של חבורות הר הצופים ועבדת ממלאת את

הקער שהתפתח מדרום למבנה רמון. נוף הרמה מעוצב על ידי מישור הגדוע האוליגוקני – מיוקני ועל גביו נמצאו משארים של תצורת חצבה שכיסתה בעבר את מישור הגדוע כולו. משארים של פרט רותם החולי נמצאו בהר חריף וכמילוי של חללים קארסטיים במקומות רבים במערב מבנה רמון. הקונגלומרט המיוקני שנמצא בגרבן-סינקלית לוץ מראה שאחרי המיוקן התרחשה דפורמציה טקטונית לאורך קו רמון, והיא האחראית ליצירת הגרבן שבו נשמר הקונגלומרט, למדרגה המורפוטקטונית שבמורד הר רמון ולגרבן לוצאן שבסיני (אבני, 1991). התרוממות האזור לאחר המיוקן הביאה לחתירת נחל לוץ במספר שלבים במהלך הפליוקן והפלייסטוקן. לאורך הנחל פזורים עצי ענק של אלה אטלנטית כשבניהם פזורים עצים צעירים שנבטו בשנים האחרונות לאורך אפיקי הנחלים ובין מצוקי הסלע. העצים הצעירים מעידים על תהליכי התחדשות של אוכלוסיית עצי האלה אטלנטית במשטר האקלימי הנוכחי.

חוזרים חזרה לכביש ונוסעים מערבה אל הר חריף. חוצים את מחום הגבול ונוסעים צפונה לאורך כביש הגבול כ- 6 ק"מ עד לאבן גבול 47. מעט צפונה משם מגיעים לתחנה מס' 6 הממוקמת על שפת המצוק הצופה לסיני בצד אנדרטה לטייסי חייל האוויר שנספו בהתרסקות מטוס בשנת 1980.

תחנה מספר 6 : תצפית מצפון להר חריף על נחיתת קמר רמון למערב (נ.צ. 1539/4936)

נקודת התצפית נמצאת על גבי מצוק גבוה שממנו נשקף נוף פתוח למערב אל אגן הניקוז הנרחב של ואדי אל עריש, כ- 500 מ' מתחתינו. הרחק במערב בולטים ג'בל עניגה וג'בל מוריפיק הבנויים מחתך עבה במיחד של תצורות ע'רב וטאקיה. ג'בל עניגה בולט על קו הרקיע כהר שולחן טיפוסי והוא מחופה על ידי החלק התחתון של חבורת עבדת. הרחק הדרום מערב ניצבת הכיפה של ג'בל עריף א-נאקה הבולטת במתארה הקמרוני על רקע הנופים הרמתיים שמאפיינים את האזור (תמונה 9) .

לכיוון דרום מערב מבחינים בנחיתת קמר רמון לעבר האגן הקערי הנרחב של מרכז סיני. המבנה הנוחת מסומן על ידי דרגשים משוכבים היטב של תצורת גרופית ועליהם חתך דק יחסית של תצורות מנוחה ומישאש.

החתך הבונה את המצוק שעליו ניצבת התחנה בנוי מיחידות עבות של חבורת עבדת (תצורות מור, ניצנה ונחל יתר) ומעליהם חתך עבה של תצורת קציעות הבנויה מקירטון חווארי צהוב ותצורת והר עקרב הבנויה מגיר מאסיבי. גיל התצורות איאוקן תיכון – חלק עליון ואיאוקן מאוחר (בינימיני, 1979; 1980). חתך זה מהווה תוספת בשיעור של כ- 200-100 מ' לחתך חבורת עבדת המוכר מרמת עבדת המרכזית.

תמונה 9

המעבר החריף מנוף של רמה

כמעט שטוחה המאפיינת את הר הנגב הגבוה לנוף של מצוקים תלולים מבטא את הארוזיה החריפה שהתרחשה באזור אחרי השקעת תצורת חצבה במיוקן. בשלב זה, ככל הנראה בסוף המיוקן או בתחילת הפליוקן, הורם הר הנגב לגובהו הכמעט נוכחי. במקביל להרמה פעלה הארוזיה על האזורי המורמים שהיו בנויים ממסלע סחיף, כמו תצורות ע'רב וטאקיה שנחשפו בחלקו המזרחי של אגן ואדי אל עריש ובשולי הר הנגב. בהר הנגב שמצפון למבנה רמון התפתחה בשלב זה הרבדה של רמת ברנע (זילברמן, 1991) המשמרת עד היום את מפלס הנוף הפליוקני. שילוב ההרמה והארוזיה יצר כבר בפליוקן את עיקר מבנה הנוף הנוכחי. הדגשה נוספת של המבנים המורמים ושינויים במיקום ציר ההרמה התרחשה בפלייסטוקן המוקדם (אבני, 1998). בשלב זה העמיקה הארוזיה באגן ואדי אל עריש בשיעור של יותר מ- 100 מ'. במקביל התרחשה בהר בנגב התחתרות של 30-50 מ' אל מתחת למפלס הנוף הפליוקני. שינויי הנוף הצעירים יצרו בשולי הר הנגב נוף פרוע במיוחד המלווה את המעבר מאגני הנגב וסיני והוא נמשך כלפי דרום אל הגבול שבין אגן נחל פארן וואדי אל עריש. חוזרים אל הכביש ואיתו חזרה להר חריף ולצומת הרוחות. כאן מסתיים הסיור.

4. מקורות

אבני, י. 1991. הגיאולוגיה, הפלאוגיאוגרפיה והתפתחות הנוף של הר הנגב הגבוה ומערב קמר רמון. עבודת גמר, המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/6/91.

אבני, י. 1998. פלאוגיאוגרפיה וטקטוניקה בנגב המרכזי ובשולי בקע ים המלח בסוף הניאוגן וברביעון. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/24/98.

אבני, י. 2001. המפה הגיאולוגית של ישראל, גיליון הר לוץ 1:50,000. הוצאת המכון הגיאולוגי.

אבני, י., ושש, א., 1987. עצים מצוררים בתצורת נצר בנגב הצפוני. החברה הגיאולוגית הישראלית, הכנס השנתי, עמ' 1.

בן דוד, ר. 1991. הגיאולוגיה של אזור בארות עודד ומערב מכתש רמון ושלבים בהתפתחות הנוף מאז המיוקן המאוחר. עבודת גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב. דו"ח המכון הגיאולוגי Rep/32/91.

בר, ג. 1981. הגיאולוגיה של קמר עריף-בתור, אזור מעלה המישר. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

בן תור,י.ק. ופרומן, ע. 1951. המפה הגיאולוגית של הנגב 1:100,000 גיליון עבדת, עם דפי הסבר. הוצאת המכון הגיאולוגי.

בן תור,י.ק. ופרומן, ע. 1964. המפה הגיאולוגית של הנגב 1:100,000 גיליון הר לוץ, עם דפי הסבר. הוצאת המכון הגיאולוגי.

ברטוב, י., 1967. הגיאולוגיה של אזור באר אורה. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

ברטוב, י., 1974. השברים ומבני הכיפות של מרכז סיני, בעיות סטרוקטורליות ופלאו-גיאוגרפיות. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
גינת, ח., 1997. הגיאולוגיה והתפתחות הנוף של אגן נחל חיון. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
גרפונקל, צ., 1964. בעיות סטרוקטורליות בקו רמון. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
זילברמן, ע. 1977. הגיאולוגיה של קו סעד נפחה, רמת עבדת. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
זילברמן, ע. 1991. התפתחות הנוף במגב המרכזי, הצפוני והצפון-מערבי בנאוגן ובקוורטר. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/45/90 .
זילברמן, ע. ואבני, י. 2005 A. המפה הגיאולוגית של ישראל, גיליון מצפה רמון 1:50,000. הוצאת המכון הגיאולוגי.
זילברמן, ע. ואבני, י. 2005 B. המפה הגיאולוגית של ישראל, גיליון הר חמרן 1:50,000. הוצאת המכון הגיאולוגי.
זסלבסקי, נ., ואבני, י., 1994. מאובני מים מתוקים בעדשה הקלסטית שבתצורת ע'רב במצוקי לוץ ושיחזורו של "אי רמון" במאסטריכט. כנס החברה הגיאולוגית, עמ' 41.
סטרינסקי, א., 1964. פוספוריט ברזלי במישור הרוחות. עבודת גמר, המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
סלומון, ע., 1987. המונוקלינות בנגב הצפוני, מודל של בלוקים נטויים והתקצרות. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
קורנגרין, ד. 1993. נסיגת הים האיאוקני באזור הערבה. עבודת גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.
קלבו, ר., 2002. סטרטיגארפיה ופטרולוגיה של תצורת חצבה בערבה ובנגב : השלכות לגבי התפתחות אגני ההשקעה והמורפוטקטוניקה של בקע ים המלח. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי GSI/22/02.
שמיר, ג. 1983. בעיות סטוקטורליות לאורך קו נחל צין. עבודת גמר, המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

Avni, Y., Zilberman, E., and Enzel, Y., 2005. Landscape evolution in the Sede Zin region, Central Negev (in preparation).
Baetov, Y., Lewy, Z., Steinitz, G., Zak., I., 1980. Mezozoic and Tertiary stratigraphy, paleogeography and structural history of the Gebel Arif a-Naqa area, eastern Sinai. Isr. J. Earth Sci. 29: 114-139.
Benjamini, C., 1979. The Geological history of central and southern Israel during the Eocene. Ph.D. thesis, Hebrew Univ. Jerusalem.
Benjamini, C., 1980. Stratigraphy and foraminifera of the Qezi'ot and Har Aqrav formations (latest middle to late Eocene) of the western Negev, Israel. Isr. J. Earth Sci. 29: 227-244.
Bowman, D., Karnieli, A., Issear, A., and Bruins, H.J. 1986. Residual colluvial-aeolian aprons in the Negev Highlands (Israel) as a paleo-climate indicator. Paleo. Paleo. Pleo. 56: 89-101.
Enzel, Y., and Kaplan, M., 1988. Preliminary safety analysis report. Appendix 2.5 e: late Cenozoic geology in the site. in: Israel Electric cooperation (IEC) nuclear power plant Shivta site. Unpublished report.
Garfunkel, Z., 1993. The Arod Pass area: Structural-stratigraphic relations and their implications for the history of the Ramon lineament. Isr. J. Earth Sci. 42: 165-176.
Issar, A., Karnieli, H., Bruins, H.J. and Gilead, I., 1984. The Quaternary geology and hydrology of Sede Zin, Negev, Israel. Isr. J. Earth Sci. 33: 34-42.
Zilberman, E., 1981. The geology of the central Negev –Sinai Shear Zone, central Negev. Part A- The Sa'ad Nafha lineament. Isr. Geol. Surv., Rep. Hydro 1/81.
Zilberman, E., 1983. The geology of the central Negev –Sinai Shear Zone, central Negev. Part B- The 'Arif-Bature lineament. Isr. Geol. Surv., Rep. EG/6/83.
Zilberman, E., 1985. The geology of the central Negev –Sinai Shear Zone, central Negev. Part C- The 'Paran lineament. Isr. Geol. Surv., GSI/38/85.

MULTI-PHASE TECTONICS AROUND BEER SHEVA

Dov Bahat

Department of Geological and Environmental Sciences, Ben Gurion University of the Negev, Beer-Sheva.

1. SUBJECT

More than twenty sets that represent distinct fracture events of joints and faults have been identified in the Beer Sheva and Shephela Eocene synclines around Beer Sheva during the last twenty years. They provide the basic information for two fracture groupings. The first concerns a 'joint classification' into five categories: Burial, syntectonic, uplift, post-uplift and surface joints. The second relates to a 'fault-joint classification' (FJR), which consists of eight temporal relationships between faults and their associated joints (two more are predicted). These include: Pre-fault burial joints, post-fault burial joints, syn-fault syntectonic joints, post-fault early uplift joints, pre-fault late uplift joints, and other FJR types.

The joint classification (Bahat 1991, p. 237-302, see below) predicts for hydrologists and engineers what should be the distinct physical properties (like dimensions and spacing) of joints that belong to the five categories. The fault-joint classification (Bahat 2004, p. 504) may help geologists to trace different stages in the evolution of basins.

2. GEOLOGY AND FRACTURE

The Shephela and Beer Sheva synclines are asymmetrical fault-fold basins within the Syrian Arc (e. g., Krenkel 1924, Bentor and Vroman 1960; Buchbinder et al. 1988), a sigmoid fold system that stretches from Syria in the north, through Israel to Egypt in the south. The Lower (or Early) Eocene Mor Formation, also termed Adulam is exposed along the peripheries of the syncline. It consists of thin (40 to 90 cm) chalk layers alternating with beds of chert nodules, up to 10 cm thick. The Middle Eocene, Horsha Formation, (also termed Maresha) is exposed at the center of the syncline. Chert does not occur in the Horsha Formation. Folding of the syncline is slight, and

joints are mostly vertical or near-vertical (Braun et al. 1977; Flexer et al. 1984). Extensions of the above and following explanations are given in Bahat (1991) and Bahat et al. (2004). These are marked by itemized pages, like (1991, p. x, or 2004, p.y) and additional references.

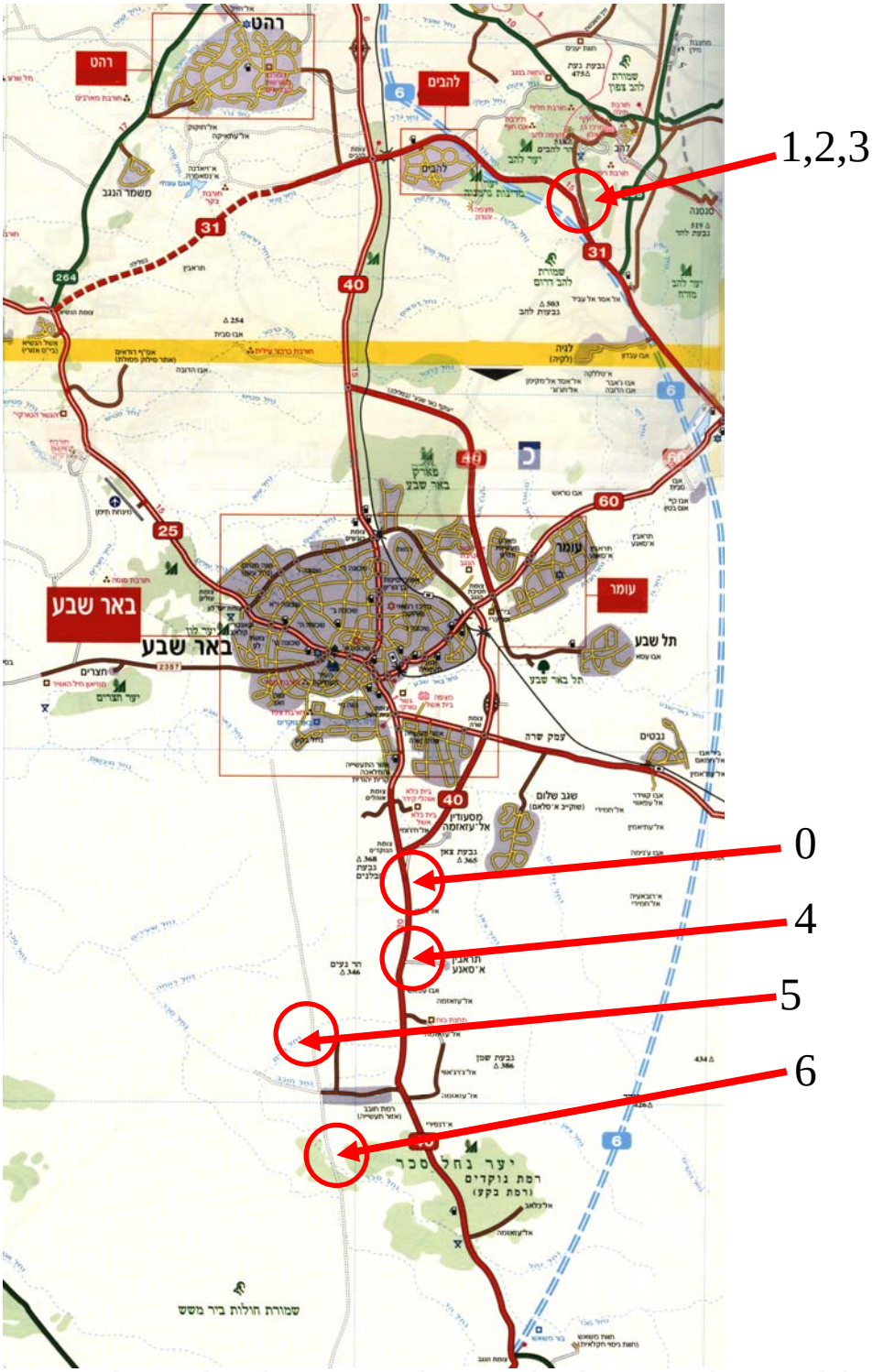
The patterns of fold-joint and fault-joint relationships in these synclines are considerably more diversified than those described in other folds. The fold-joint relationships include, burial single layer joints (b. s. l.), uplift single layer joints (u. s. l.), various syntectonic joints - like fault termination joints, uplift joints and post uplift joints.

The b. s. l type is exposed in stops 1-3, while the u. s. l type outcrop in stops 4-6 (see below).

3. SIX STOPS IN THE MOR AND HORSHA FORMATIONS

3.1 General

Representatives of the joint classification and the fault-joint classification are shown in six stops (see map) as follows. There are three stops (1-3) in exposures of the Mor Formation, at the southern tip of the Shephela syncline along road 31. There are three stops (4-6) in exposures of the Horsha Formation, stop 4 on Road 40, stop 5 along Wadi Naim, and stop 7 along Wadi Secher.



Map 1. Shows the six stops to be examined. Stop 0 (see text) had been an important outcrop before being removed by MAAZ. Distances to stops are given in the text. Three stops (1-3) in the Mor Formation are exposed in the Shephela syncline. Three stops (4-5) in the Horsha Formation are exposed in the Beer Sheva syncline.

3. 2 Stops in sequence

Stop 1 occurs 8 km west of 'Zomet Shoket'. A cross-fold joint set forms parallel to the horizontal, maximum principal stress when exerted on the fold, approximately perpendicular to the fold axis. The following fracture types are examined in this stop:
(a) joints of a burial, single-layer cross-fold set (s. l.) that are about 90 cm width (height) and maintain constant spacing,
(b) joints of an uplift, (b) multi-layer (m. l.) cross-fold set that cross the entire outcrop and do not maintain approximately constant spacing (1991, pp. 240, 282),
(c) a fracture zone that consists of a series of joints at a small spacing (1-2 cm), and
(d) a vertical fault.

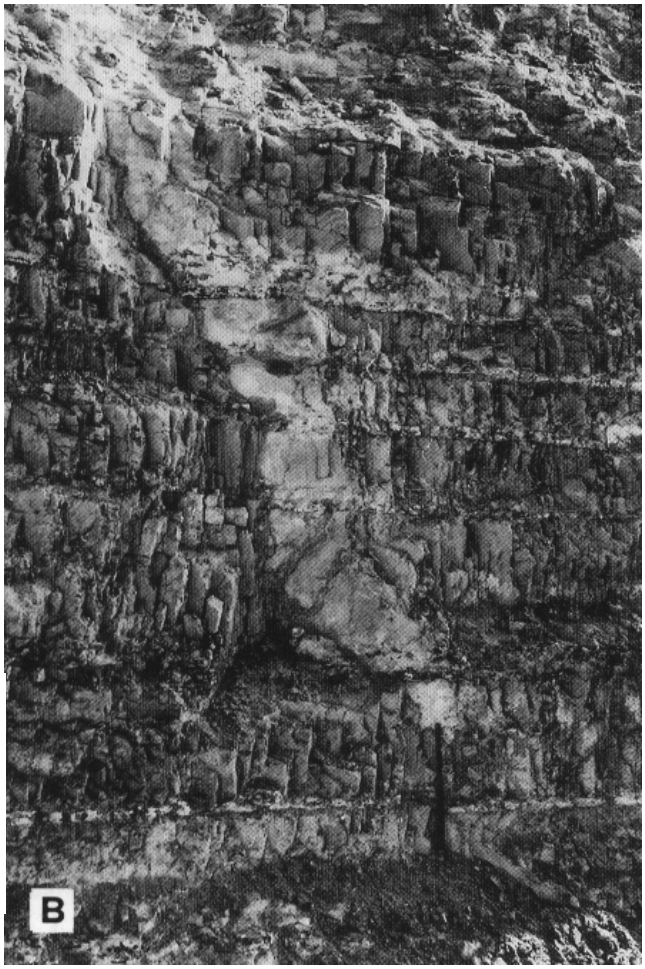


Fig 1. ***Many small single-layer (s. l.) joints are shown at both sides of a large multi-layer (m. l.) joint. Scale is 90 cm.***

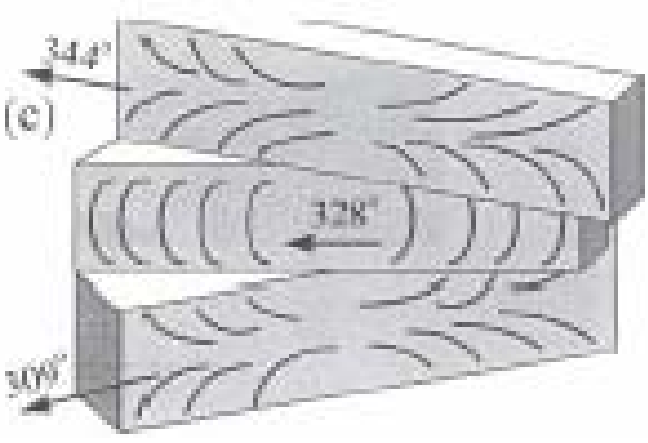


Fig 2. A model of three set directions, in which the 328˚ set is coaxial with the maximum horizontal principal stress, that induced strain in the region during the Lower Eocene (drawing by Alon Raviv).

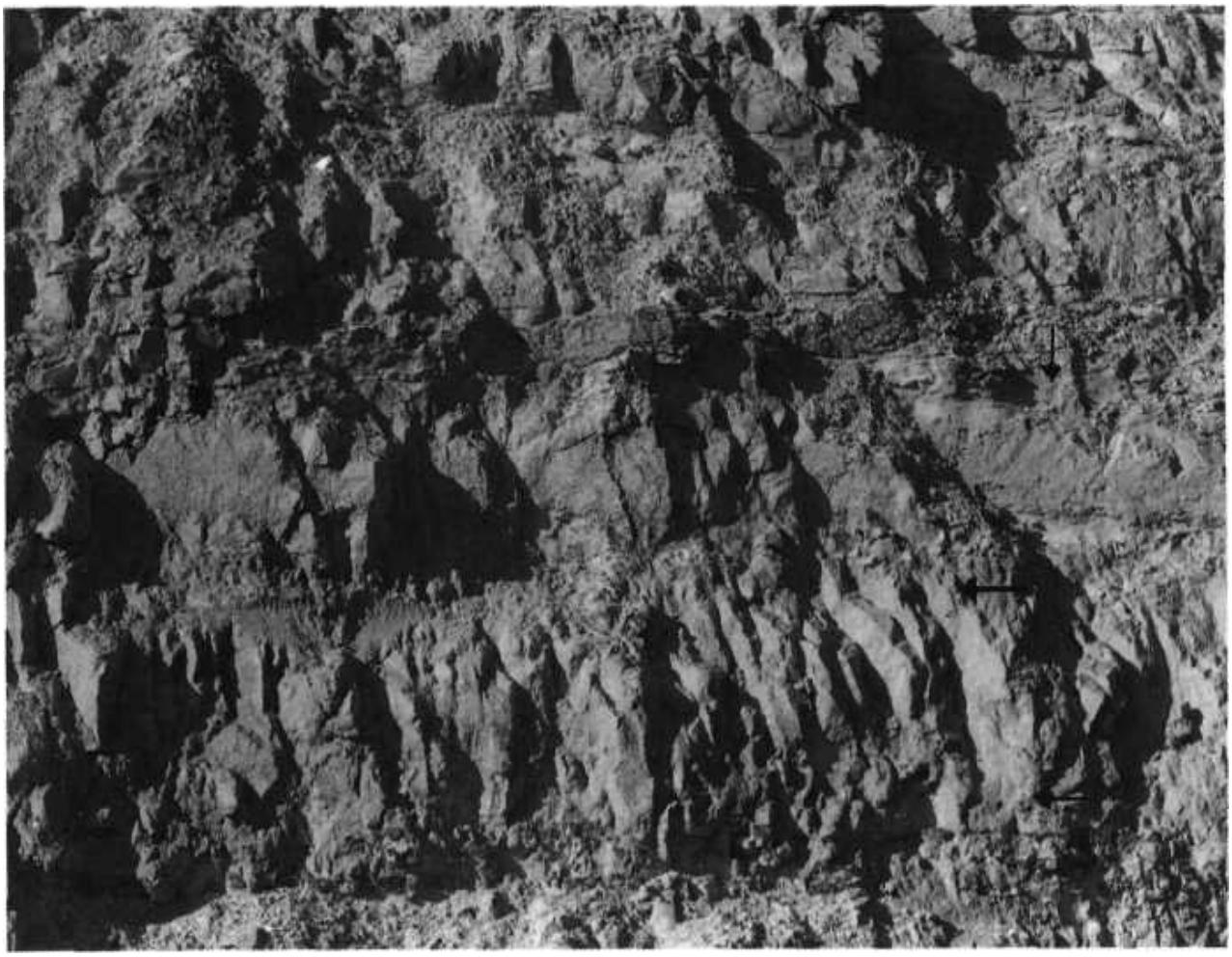


Fig 3. ***Joints of the two sets, 309˚ and 328˚ (vertical and horizontal arrows, respectively) occur systematically in different rock layers. Each rock layer of chalk (between two chert beds) is about 90 cm thick.***

Stop 2 occurs next to stop 1, down the road**.** We examine s. l. burial joint sets that occur in two azimuths, (a) a joint set 309° marked by plumes (sub-parallel to outcrop), and (b) a joint set 328° marked by concentric undulations (at a small angle to outcrop), that occur on separate layers. Note the significant dominance of set 328° over sets 309° (and 344° in other outcrops), with the implication of the great importance of the 328° direction (1991, p.169). A horizontal arrow marks the 328° set, and the 309° set, by a vertical arrow.

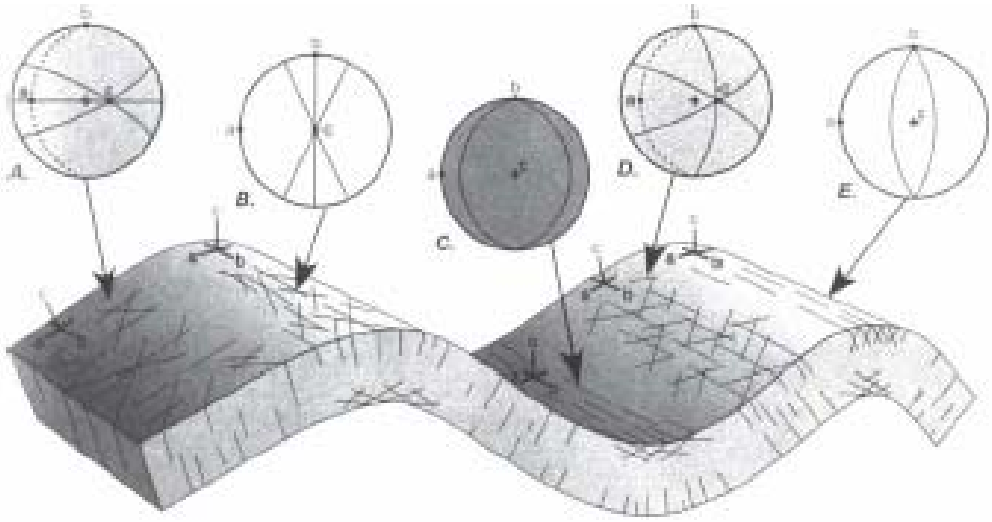


Fig 4. A model of main types of joint sets (A-E) in a folded rock layer (details in Twiss and Moores 1992, p.49).

Stop 3 occurs 1 km west of stop 1 (5 km east of ‘’Zomet Lehavim’’. Strike-parallel joints are those that form parallel to the fold axis, probably upon relaxation of the maximum principal stress with respect to the fold. Examined are:

(a) strike-parallel burial, single-layer joints, that show regular spacing,

(b) multi-layer joints which show irregular spacing,

(c) Post-uplift joints that fit the young topography (1991, p. 301). Note above a diagram of fold-fracture relationships (after Twiss and Moores 1992), which exhibits typical four set types. We concentrate on the types marked A and B.

(d) In addition, we search for post-uplift joints that fit the young topography and show a unique fractography (above). The post-uplift category exhibit similar fracture surface morphologies in chalk, sandstone and in granite. This is particularly demonstrated in their ‘marging fractographies’ (see above).

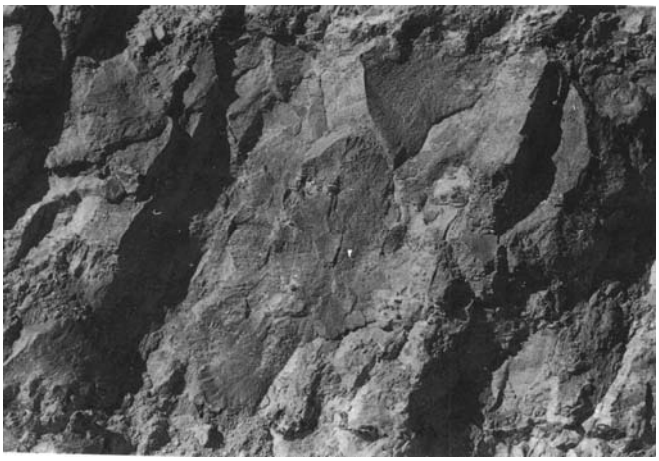


Fig 5.
A fractography of post-uplift joints, showing a radial structure. Vertical length of picture is about 1.5 m. Fractography is visible only in good sun light (details in Bahat, 1991, p. 301).

Stop 0 occurs 1 km south of ‘’Zomet Hanokdim’’**,** near remnants of what used to be station 20 in previous publications (staying in the bus). First, examine in photo the two conjugate normal faults, and the **‘Fault-joint classification’.** See Type 1, pre-fault, burial joints (2004, p. 504) that occurs in the Lower Eocene. They preceded a normal fault from the burial stage in the syncline. Also, type 2, post-fault, burial joints that occur in the Lower Eocene, but are younger than the fault (hardly visible, see Gross et al. 1997).

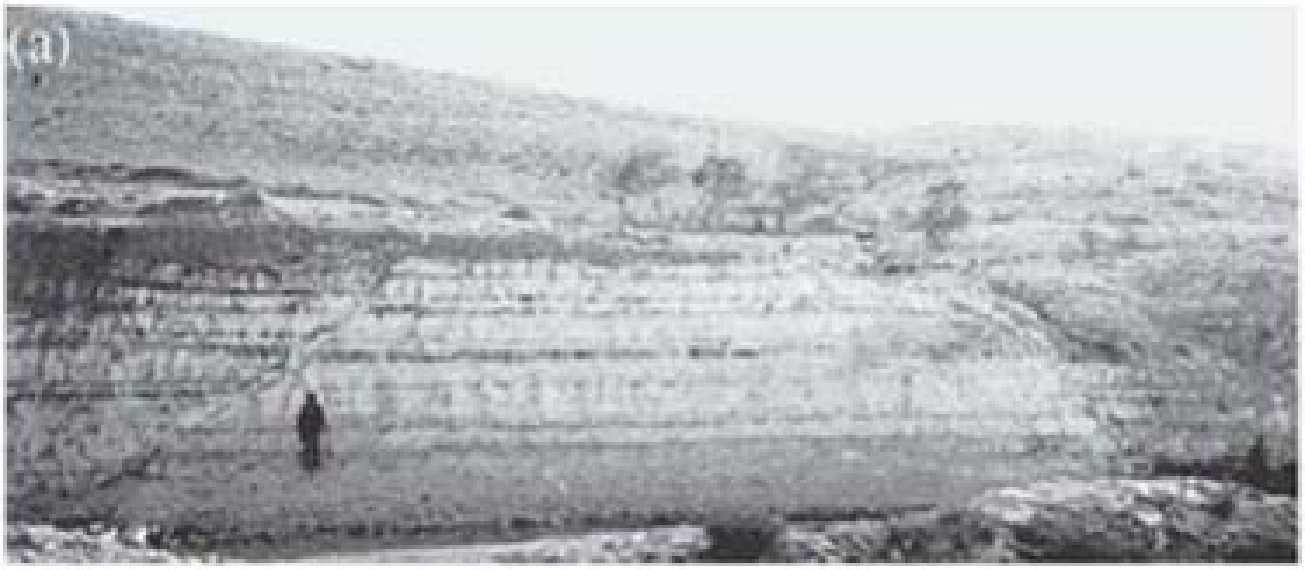


Fig 6. ***A photo of the ‘removed outcrop’ (map 1), showing two conjugate normal faults and many single-layer, burial joints between them.***

Stop 4: Road 40, see the lower part of the Horsha Formation, which reveals solid (undivided into layers) chalks. Note also, very young gypsum beds that occur within the solid chalks that are cut by ‘’multi-layer’’ joints, which show irregular spacing (Issar et al. 1988; 2004, p. 261) (see below).

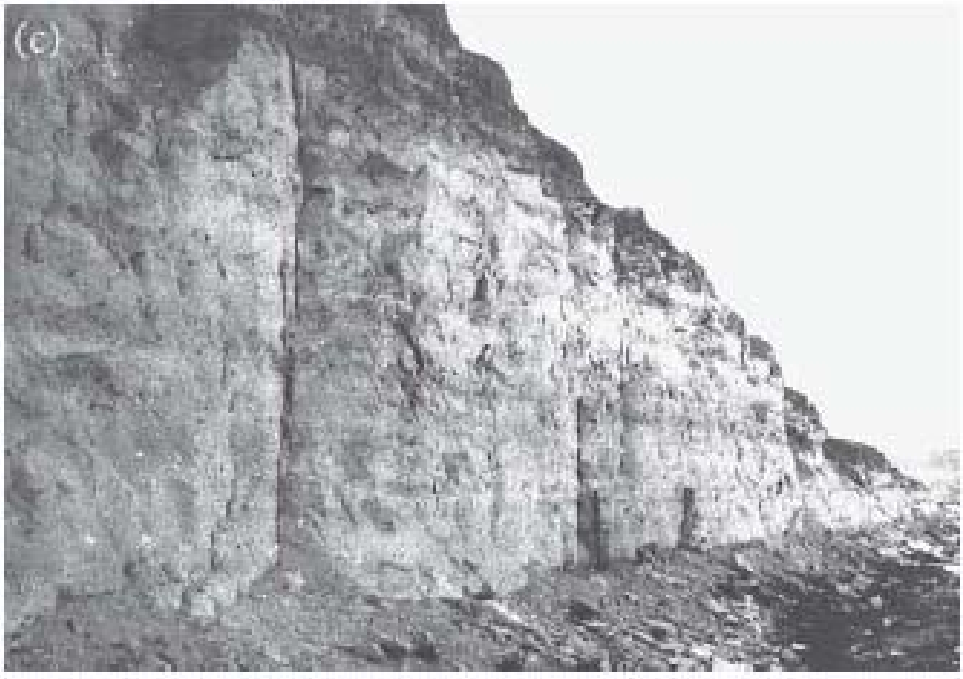


Fig 7. ***‘’Multi-layer’’ joints in the lower part of the Middle Eocene (Horsha Fm.) and an unexpected layer of gypsum. Scale is 90 cm.***

Stop 5: An extended stop along Wadi Naim. Examine:

(a) the early strike-slip fault termination zone (Pr, S1-S3) that contains type 5, post-fault, syntectonic, early uplift joints (2004, p.494).

(b) uplift, single-layer joints with delicate, unilateral and bilateral plumes (1991, 157), type 6, pre-fault, late uplift joints, and their lower two style fringes of en echelons. Also, note their rotation (2004, p. 274).

(c) The 062° uplift set (1991, p. 277).

(d)The straight uplift set, and

(e) The late normal fault.

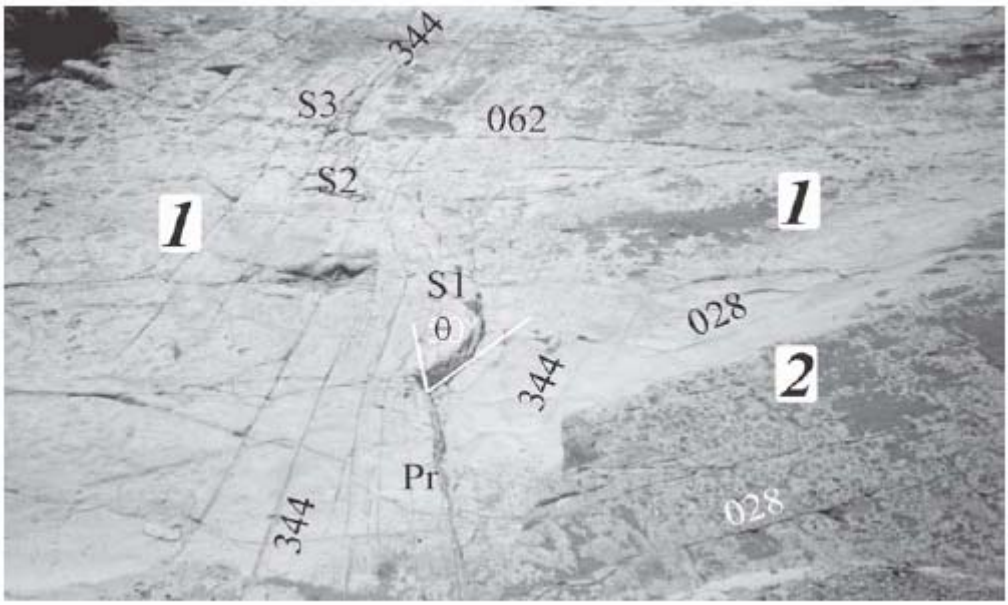


Fig 8. ***A unique fault termination zone (UFT) in Wadi Naim, showing the primary fault (Pr), Secondary faults beyond the tip of Pr (S1-S3), an associated joint set 344˚, confined to the UFT, and additional joint sets 028˚ and 062˚ in layers 1 and 2 (details in Bahat et al. 2005, p. 494).***

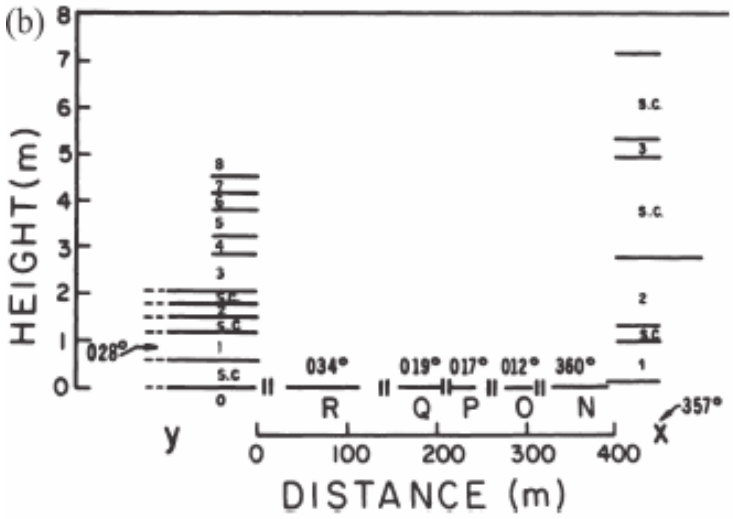


Fig 9. ***A diagram based on strike measurements of joint rotation in adjacent outcrops (Y, R, Q, P, O, N, X). This rotation is considered to have been induced by a synclinal stress rotation during uplift.***

Stop 6: Examine types 3 and 4 (2004, p. 504), both display syn-fault, syntectonic, early uplift fractures along a normal fault. Type 3 relates to joints that form sub-parallel to the fault in the upper hanging-wall of the normal fault. On the other hand, type 4 concerns secondary faults that twist locally at the lower footwall (see numbers 1-3).

Layer group	Average of NE joints			Average of NW joints		
A	41.7°	(16.9)	[57]	–	–	–
B	62.7°	(15.0)	[39]	281.3°	(4.8)	[4]
C	55.0°	(7.7)	[244]	–	–	–
D	51.1°	(7.4)	[51]	329.5°	(3.7)	[19]
E	41.9°	(16.1)	[122]	321.1°	(16.5)	[32]
F	47.6°	(15.7)	[670]	318.1°	(17.2)	[85]
G	55.0°	(13.1)	[25]	280°		[1]

( ) and [ ] designate respectively, standard deviation and number of measurements. *A–E* are layer-groups in Fig. 3.39a, *F* is a summary of *A–E*, and *G* is the summary of m.l. joints in station 83 in Fig. 3.37 (after Bahat and Shavit 1997).

Table 1. Joint rotation in station 83 from Wadi Secher

Fig 10. ***A normal fault in Wadi Secher and adjacent joints.***

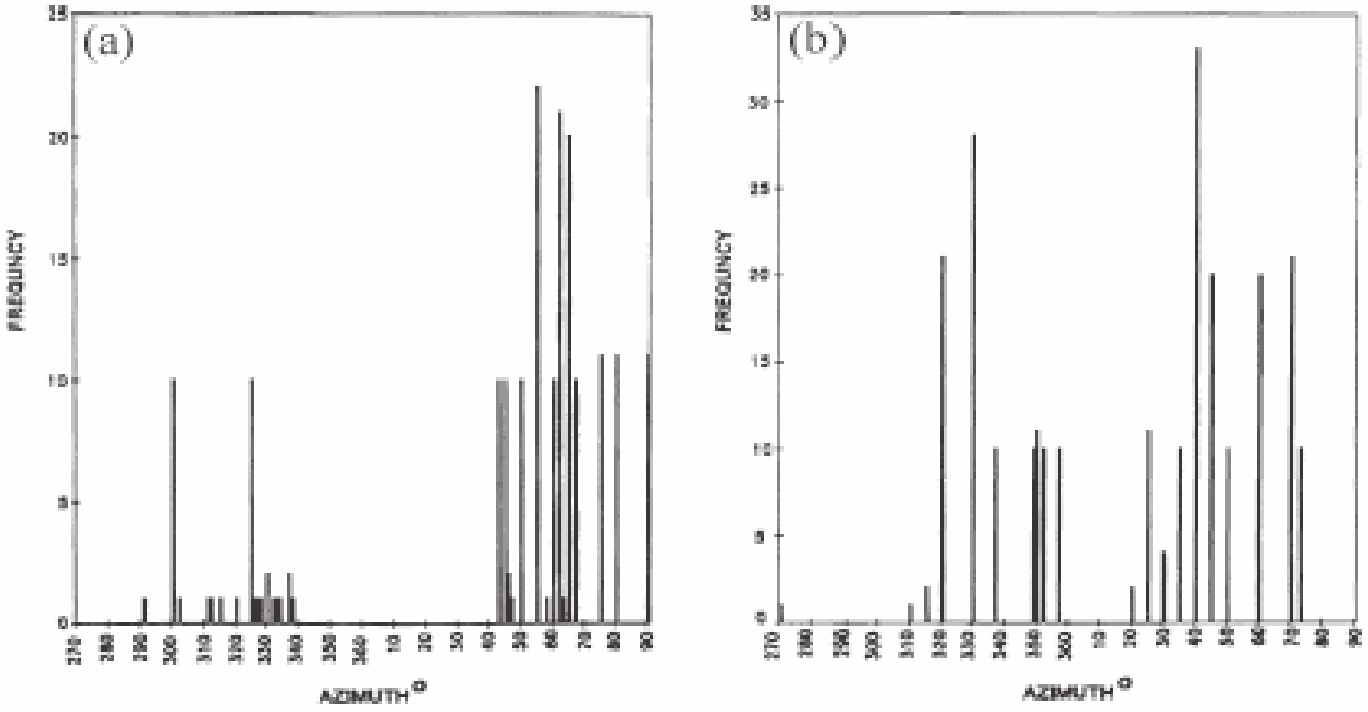


Fig. 11. ***While histogram (a) shows joint azimuths in 14 stations from the eastern side of Wadi Secher in the Beer sheva syncline, histogram (b) shows azimuths in 9 stations further west, towards the syncline center. More westerly directed joints are seen in the latter, implying some joint rotation.***

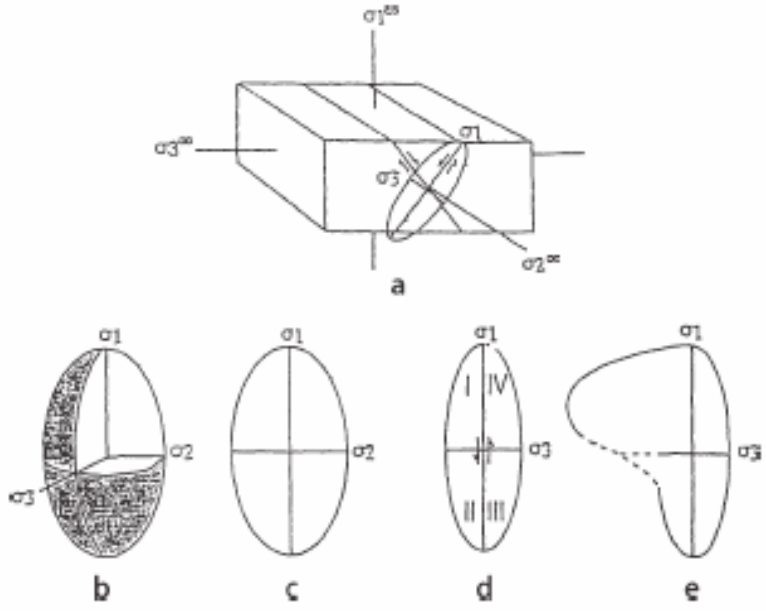


Fig 12. ***A model explaining relationship between remote stresses and local stresses along the normal fault in Wadi Secher (Fig. 10) (details in Bahat et al. 2005, p. 508).***

REFERENCES

Bahat, D. (1991) Tectonofractography, Springer-Verlag, Heidelberg, 354 p.

Bahat, D, Rabinovitch, A., Frid, V. (2005) Tensile Fracturing in Rocks, Tectonofractographic and Electromagnetic Methods, Springer, Heidelberg, 569 p.

Production: Efrat 2000 (02-6522144)
Graphic design: Nava Moscko
Cover: Ma ale Aqrabim
Photographer: Ezra Zahor

FIELD TRIPS

2005

ISRAEL GEOLOGICAL SOCIETY,
ANNUAL MEETING

MASHABIM