

משרד האנרגיה והתשתית
המכון הגיאולוגי



הגיאולוגיה וההידרוגיאולוגיה
של הערבה התיכונה
בין יטבתה לפארן

יוסף ברטוב
עמוס ביין

דו"ח GSI/5/94
ירושלים מרץ 1994

הגיאולוגיה וההידרוגיאולוגיה של הערבה התיכונה
בין יטבתה לפארן

מחקר זה נערך בהזמנת נציבות המים

יוסף ברטוב

עמוס ביין

ירושלים, מרץ 1994

דו"ח GSI/5/94

תוכן העניינים

עמוד

תקציר

1. גיאולוגיה.....	1
מבוא.....	1
כללי.....	1
סטרטיגרפיה.....	2
חבורת כורנוב.....	2
חבורת יהודה.....	3
חבורת הר הצופים.....	4
חבורת עבדת.....	5
תצורת חצבה.....	6
קונגלומרט הערבה ותצורת-מזר.....	7
מבנה.....	8
2. הידרוגיאולוגיה.....	10
כללי.....	10
אקויפרים, שכבות ניצול וכיווני זרימה.....	10
עקרונות לחישוב מאזני מים באזור.....	14
המלצות לקידוחים ותפעול המערכת.....	14
ספרות (עברית).....	15
ספרות (אנגלית).....	17
רשימת ציורים.....	19

תקציר

בעבודה זו נסקרות הגיאולוגיה וההידרולוגיה של הערבה בין נחל פארן ליטבתה. מוצג מפוי גיאולוגי חדש של הבקע, המבוסס על עבודת שדה בחלק הישראלי ועל פוטוגיאולוגיה בצד הירדני, וכן קומפילציה של עבודות באזורי השוליים. במסגרת זו אותרה מציאותה של תצורת חצבה בבלוק הירוד של הבקע, כנראה לכל אורכו של אזור הסקר. תצורה זו מהווה חתך אקויפרי עבה, המנקז אליו מים עיליים ותת קרקעיים הן ממערב והן ממזרח.

נסקרת תמונת המצב ההידרולוגית, ובעיקר יחסי הערבוב בין המים המתוקים, הבאים בעיקר ממזרח ותמלחות הנכנסות מן המערב. מוצגים העקרונות לחישוב מאזני המים באזור וכן המלצות לקידוחים ולתפעול המערכת.

הגיאולוגיה

מבוא

מחקר הגיאולוגיה וההידרולוגיה של הערבה בקטע שבין יטבתה לבין רכס מנוחה (ציור 1) נערך במכון הגיאולוגי בהזמנת נציבות המים. במסגרת הזמנה זו הוגש דו"ח ביניים בינואר 1992 (ברטוב ואלמוגי-לבין, 1992).

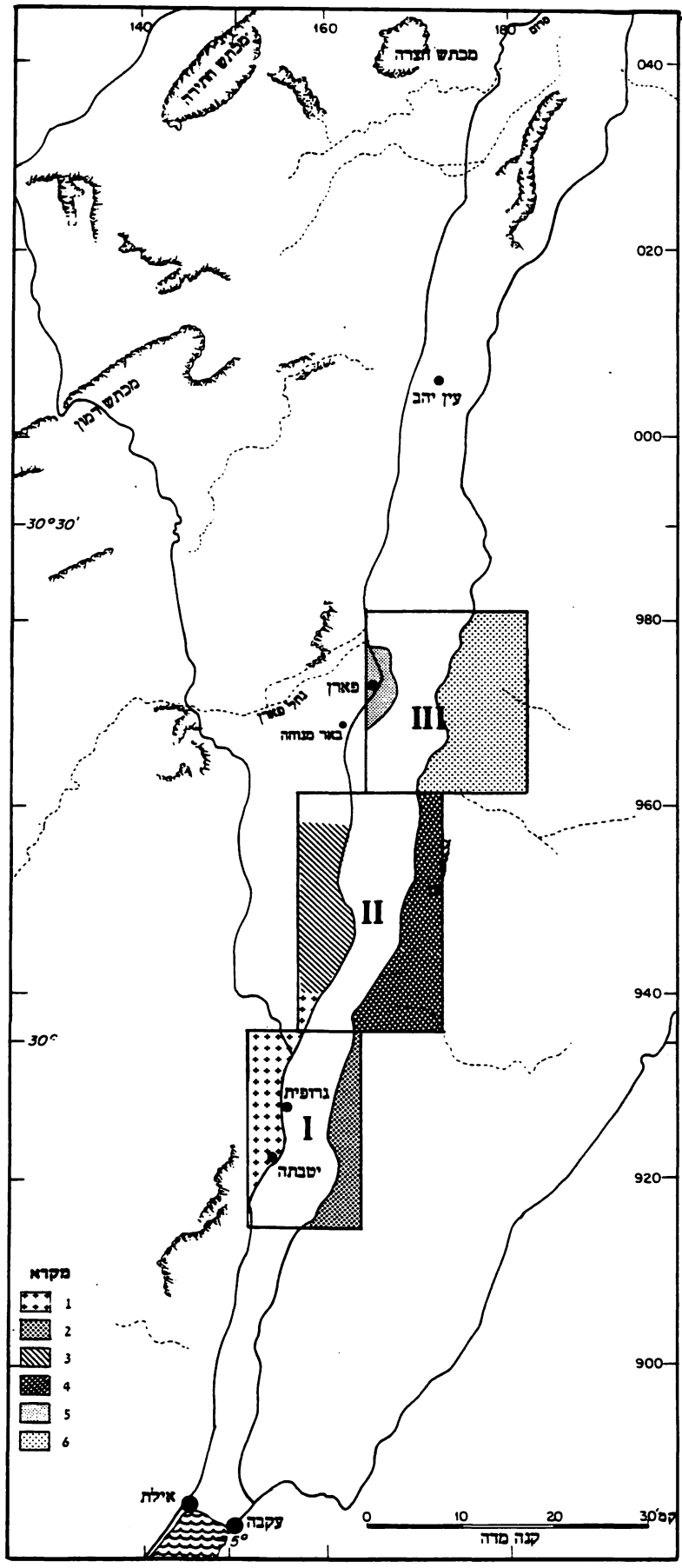
מטרת המחקר היא לסכם את האינפורמציה הגיאולוגית והסטרקטורלית, על מנת להבין את המערכת ההידרולוגית בקטע זה של הערבה. השלב הראשון התמקד בהשגת מידע גיאולוגי וגיאופיזי, כהכנה למחקר משלים של רפלקציה סייסמית. לקראת סיום העבודה הנוכחית הוחל בבצוע קוים סייסמיים ע"י המכון למחקרי נפט וגיאופיזיקה, אשר מקומם נקבע בהתאם למסקנותיה. לאחר בצוע קוים אלה ניתן יהיה להציג תמונה שלמה יותר של האזור.

הסקר הנוכחי עושה שימוש במקורות הבאים:

- א. עבודות קיימות של מיפוי גיאולוגי בשולי הבקע.
 - ב. בדיקה מחודשת של קידוחי המים.
 - ג. עיון מחדש בעבודות גיאופיזיות שנערכו באזור (עבודות גיאושמל בשיטות DC ו-TDEM).
 - ד. מיפוי גיאולוגי ועבודת שדה ממערב לגדר המערכת ישראל-ירדן, בשטחים שטרם מופו עד כה, ומיפוי פוטוגיאולוגי לרגלי הרי אדום, בהסתמך על עבודות מיפוי חלקיות שפורסמו ועל הכרות עם יחידות המפוי.
 - ה. שימוש במפוי גיאולוגי ממזרח לנחל הערבה בקטע שבין מושב עידן לנחל פארן (ברטוב, 1994), שהוא אזור נרחב ובעל חשיפה טובה, המאפשר הערכה על המשכיות מבנים אל השטח הנחקר כאן.
- המחברים מודים להרצל נאור מתה"ל על הסיוע הרב שהושיט להם ועל בקיאותו הרבה שהועמדה ברצון לרשותם. לאלי רם על עזרתו הנאמנה בשדה, ולרויטל אגנצי על ההדפסה. דר' אהובה אלמוגי-לבין סייעה בהגדרות מיקרופליאונטולוגיות של סדימנטים צעירים בקידוחים.

כללי

האזור הנחקר משתרע מדרום לשפך נחל פארן אל הערבה ועד למלחת יטבתה. במזרחו - הרי אדום, היוצרים מדרון תלול של סלעי התשתית הפריקמברית, בכמה מקומות עם מדרגות הבנויות סלעי משקע פנרוזואיים, הנחצה ע"י מספר ואדיות עמוקים עם מניפות סחף רחבות. במערבו - סלעים של חבורות יהודה והר הצופים, במדרונות מתונים המשתפלים אל הערבה. נחלים רחבים מאפינים את החלק הצפוני (פארן, חיון ושיטה) ואילו באזור הדרומי הם



ציור 1

צרים וקצרים. פרשת המים בתוך הערבה עוברת באזור גב הערבה, בגובה של כ-250 מ'. האזור בד"כ שטוח, בכמה מקומות הניקוז פנימי (קע סעידין, מלחת יטבתה), וכמה מקומות מתנשאים בו גם הרים כגון ג'בל רישה וג'בל חריג'.

סטרטיגרפיה

לימוד הסטרטיגרפיה של אזור המחקר מתבסס על סקירת העבודות שנערכו בשוליו המערביים, על בדיקת הקידוחים בערבה, וכן על אינפורמציה שנאספה מעבודות שונות שפורסמו בירדן. העבודות הדנות בסטרטיגרפיה של השוליים המערביים הן עבודותיהם של סקל (1967), ליפשיץ (1986) וגינת (1989). נסקר בהן חתך מגיל קרטיקון תחתון ועד לאיאוקן עליון, הכולל את חבורות כורנוב, יהודה, הר הצופים ועבדת (ציור 2), וכן חתך צעיר יותר של תצורות נאוגניות (תצורת חצבה) ופליו-פליסטוקניות (חבורת ים המלח).

מטרת הסקירה היא לעמוד על שינויי המסלע והעובי של היחידות החשופות, ולהשוותן אל יחידות הסלע המתאימות בקידוחים. מגמות השינוי של היחידות המזוזואיות נסקרו כללית ע"י Bartov and Steinitz (1977), אשר הציגו מפות איזופחיות ליחידות הנ"ל. העבודות המאוחרות יותר מאפשרות התוויה דקדקנית יותר של האיזופחים, והשוואתם אל ממצאי הקידוחים בערבה (ציור 3).

א. חבורת כורנוב

חבורת כורנוב חשופה ממערב לשטח הנסקר באזור כיפת עשת (סקל, 1967) ובאזור יטבתה (גינת, 1989). בשני המקרים מוגבלת החשיפה לחלק העליון ביותר של החתך, ורק בתת הקרקע ניתן לקבל מידע על היחידה כולה. באזור יטבתה מצוי חתך של כ-50 מ' של אבני חול מגוונות, המשתייכות לפרט סמר של תצורת חתירה, עם תופעות של צביעה בלתי רגולרית, שכבות פצלים דקות (מספר סמ') וקרומי לימוניט. באזור כפת עשת החשיפה היא של כ-32 מ', והחתך בנוי חול, חרסיות ומעט גיר ודולומיט, חלקם עשיר בגלאוקוניט. בתת הקרקע נחדרה חבורת כורנוב במספר קידוחים. העובי המירבי שנחדר הוא בקידוח יעלון 6 (312 מ') ובגרופית 5 (292 מ'). החתך חולי ברובו, עם מעט חוואר, פצלים, ושכבות דקות של גיר. ההכרות עם חלקי חתך נמוכים יותר שלא נחדר בקידוחים מבוססת על מחשופים של אבני החול הפליאוזואיות והקרתיקוניות בתמנע, קידוחים עמוקים לפרוספקציה של נחשת בערבה, וקידוח צניפים 1.

ממזרח לאזור העבודה תוארו חתכים של אבני חול נוביות מעל לקומפלקס הפריקמברי (Ibrahim, 1991). בחלקם העליון (באי התאמה מעל החלק התחתון, הנחשב כפליאוזואי) מופתה חבורת כורנוב בעובי של כ-105 מ', ובה אבני חול קוורציות, עם חלוקי קוורץ מפוזרים, ובחלק העליון אבני חול מגוונות, קרומים לימוניטיים ושכבות חרסית. באזורים אחדים מופו אבני החול הנוביות ללא חלוקה, וסומנו בסימן NS. באזורים בהם מופתה חבורת כורנוב לבדה היא סומנה (הן במזרח והן ממערב לערבה) בסימן Klh.

ב. חבורת יהודה

חבורת יהודה נחשפת ממערב לערבה באזור כפת עשת, ודרומה באזור שבין יהל ליטבתה, על פני שטחים נרחבים. החלוקה הסטרטיגרפית שלהלן מבוססת על החלוקה המקובלת בנגב כמתואר אצל Bartov et al. (1972), ונוספו לה פרטים מעבודותיהם של ליפשיץ (1986) וגינת (1989).

החבורה חולקה לתצורות הבאות:

1. תצורת חצרה - שכבות של דולומיט, חולי בבסיס, חוואר וגיר, עם אופקי ביניים חרסיתיים, מגיל קנומן. התצורה מופתה בסימן Kuh.
 2. פצלי אורה - חתך שעיקרו פצלים וחוואר, שכבות גיריות וגיריות-חוואריות ובחלק העליון שכבות דקות של אבן חול וגבס. גילה - טורון תחתון. התצורה סומנה במפה בסימן Kuo.
 3. תצורת גרופית - חתך גירי-דולומיטי קשה, עם מעט שכבות חוואר, בחלק העליון - גירים מצוררים. גילה - טורון עליון-קוניאק. התצורה סומנה במפה בסימן Kuge.
 4. תצורת ציחור - בנויה חילופין של גיר, חוואר, דולומיט ומעט צור, מגיל קוניאק. התצורה סומנה במפה בסימן Kuz.
- ההבחנה בין שתי התצורות האחרונות קשה בחלק מן השטח, וכן במספר קידוחים (כדוגמת יעלון 1).
- להלן סיכום עובין של היחידות במחשופים (במטרים), כפי שהוא מופיע בעבודות הנ"ל ובאזור באר אורה (לפי ברטוב, 1967). עוביים אלה הם הבסיס למפות האיזופחיות של האזור (כדוגמת ציור 3, המציג את המפה האיזופחית של חבורת יהודה). נתוני העובי של חבורת יהודה אינם כוללים את תצורת ציחור.

יחידה	אזור פארן	אזור יהל	אזור יטבתה	אזור באר אורה
ת. חצרה	216	---	140	126
ת. אורה	103	---	112	104
ת. גרופית	118	130	162	133
סה"כ	437		414	363
ת. ציחור	70	32	24	30

חבורת יהודה נחשפת במזרח הערבה באזור ג'בל חריג', בעובי של כ-145 מ', כשהבסיס אינו חשוף. בתצלומי האויר ניתן לזהות את הגבול בין תצורת גרופית לתצורת ציחור, ולכן סומנה האחרונה בנפרד בסימן Kuz, והחלק הבלתי מחולק של התצורות התחתונות בחבורה בסימן Kj.

כמו כן נבדקו מספר קידוחים בהם ניתן לזהות את היחידות הנ"ל. בחלק מהמקרים לא ניתן לקבוע בברור את הגבולות, ועל כן ניתנים כאן עוביים של מספר יחידות יחדיו. במקרים בהם קיים ספק באשר למקום המדוייק של הגבול, מובא הנתון בסימן שאלה.

יחידה	קע סעידיין 1	יעלון 7	יעלון 5	יעלון 1	יעלון 6
ת. חצרה	171	168	283}	170	135
ת. אורה	105	106	}	108	99
ת. גרופית	152	156	152	163	?135
סה"כ	428	430	435	441	369
ת. ציחור	26	36	36	---	?30

מנתונים אלה עולה שעובי היחידות בקידוח יעלון 6 שונה במובהק מאלה של הקידוחים האחרים באזור. בעוד שנתוני שאר הקידוחים מתאימים לאלו המוכרים בשטח ממערב להם, מתאימים נתוני קידוח זה לעובי היחידות בדרום, באזור באר אורה.

יחידות אקוילנטיות לאלו של חברת יהודה תוארו ממזרח לבקע במספר עבודות. הפרוט המובא אצל Ibrahim (1988, 1991) מאפשר קורלציה מדוקדקת והשוואה מפורטת של העוביים. תצורת חצרה חשופה באזור המבנה של בוסינאת (מהתדי) שממול לתמנע (נ.צ.מ. 159/910) באזור תוריבין שממול ללוטן (נ.צ.מ. 168/934) ובאזור ע'רנדל (נ.צ.מ. 169/940). עובי החתך משתנה הדרגתית מ-45 מ' באתר הדרומי ועד ל-59 מ' באתר הצפוני. התצורה קרויה כאן Na'ur Formation. בבסיסה מצוק דולומיטי חום, ומעליו שכבות חוליות ומעליהן שכבות גיר עשיר פאונה.

פצלי אורה (המכונים כאן בשם תצורות Hummar, Fuheis ו-Shu'ayb, בלתי מחולקות) עוביים במבנה של בוסינאת כ-35 מ', 64.8 מ' במבנה תוריבין, ובואדי ע'רנדל כ-80 מ'. היחידה בעיקרה פצלית-חווארית, באמצעה דרגש דולומיטי ("הדרגש של פרומן"), ובחלק העליון פצלים עם אבני חול.

תצורת גרופית (הקרויה אצלו Wadi as Sir Formation) היא בעיקרה גירית, עם מעט אפקי חוואר, וצור בחלק העליון. עובייה בבוק של תוריבין 55.8 מ', ובואדי ערנדל 87 מ'. חלק החתך מבסיס תצורת חצרה ועד לגג תצורת גרופית סומן, ממזרח לערבה, בסימן Kj. תצורת ציחור (Wadi umm Ghudran Formatoin) עיקרה קירטון, וחוואר חולי. ההבחנה בינה לבין ה-Amman Silicified Limestone שמעליה קשה. עובייה בגבל חריג' 46 מ'. התצורה סומנה בנפרד בסימן Kuz.

ראוי לציין שעובי היחידות והרכבן הליתולוגי ממזרח לבקע, באזור זה, דומה ביותר לחתך המוכר מאזור נויבה במזרח סיני (Bartov and Steinitz, 1977), ועובדה זו תואמת את התזוזה האופקית של כ-100 ק"מ בבקע (Freund et al. 1970).

ג. חברת הר הצופים

בחלק המערבי של האזור הנחקר נחשפות התצורות המשתייכות לחברת הר הצופים, מגיל סנון, בשוליים של כפת עשת (תצורת מנוחה, מישש וע'רב), באזור שפך נחל חיון, נחל שיטה ויהל. המחשופים שבאזור נחל שיטה ובמרכז הערבה, מהווים המשך למחשופים של גבל חריג', שמעבר לגדר המערכת.

תצורת מנוחה מופיעה כאן בפציאס המוכר מן הנגב המרכזי, הכולל רצף קירטוני המופרד באמצעו על ידי יחידה חווארית, במקומות גם עם צור, דולומיט וצור בבולבוסים. סה"כ עובי היחידה 80-120 מ' ברכס מנוחה (סקל, 1967), וכ-100 מ' באזור יהל (ליפשיץ, 1986). התצורה סומנה במפה בסימן Kum.

תצורת מישש, אף היא בפציאס של הנגב המרכזי, עיקרה חתך צורני, עם מעט שכבות ביניים קירטוניות, ובחלק הגבוה גם שכבות של קירטון פוספטי. סה"כ עובי התצורה 100-200 מ' ברכס מנוחה, וכ-70 מ' באזור יהל. התצורה סומנה במפה בסימן Kumi.

תצורת ע'רב שעיקרה קירטון עם שכבות ביניים חוואריות, נחשפת באזור שפך נחל חיון לערבה, כאשר חלקה העליון גדוע. חתך מלא נמצא באזור רכס מנוחה, בעובי של 55 מ', ומעליה מונחת תצורת טאקיה החווארית בעובי של 70-80 מ'. בקידוחי יעלון נחדר רק חלקה התחתון של תצורת מנוחה. בעוביים שבין 104 מ' בקידוח קע סעידיין, כ-100 מ' ביעלון 7, ו-63 מ' ביעלון 5.

מזרחה לבקע (Ibrahim, 1991) אין הפרדה בין תצורות מנוחה ומישש, מחוסר אפשרות למפוי נפרד. היחידה המוכללת נקראת כאן Amman Silicified Limestone והיא כוללת בתוכה שכבות של קירטון, גיר, גיר חולי צור ופוספוריט. שכבות של גיר מצורר, עשיר באוסטריאות, מצויות בחלקים גבוהים של החתך. עובי היחידה כפי שנמדד בואדי ע'רנדל 40-69 מ'. מצב דומה מוכר במזרח סיני שבו אוחדו תצורות מנוחה ומישש לתצורת סיירים (Bartov et al., 1972).

מעל ליחידה זו מצוי, מזרחית לבקע, חתך קירטוני-חווארי, המתאים לתצורת ע'רב, בעובי שבין 30-40 מ'. לא תואר כאן חלק החתך המתאים לגבול תצורות ע'רב וטאקיה. במקומות בהם ניתן היה למפות את תצורת ע'רב בנפרד היא סומנה בסימן Kug, ובמקומות בהם לא ניתן היה למפותה בנפרד מתצורת טאקיה הן סומנו יחד בסימן Tg.

ד. חבורת עבדת

ממערב לבקע מצויים מחשופים של חבורת עבדת (איאוקן תיכון-עליון) באזור רכס מנוחה ודרומה לו באזור גבעות צחיחה - גבעות מנוחה. (בעובי 185 מ'). באזור רכס מנוחה תואר החתך על ידי סקל (1967), ואח"כ ע"י בנימיני (1978). עיקרו קירטון, גיר וצור. החתך המלא ביותר נקדח בקידוח פארן 20, בנחל ברק. העובי החריג של החתך בקידוח זה נובע מנטית השכבות. ההערכה המוצגת כאן בדבר 150-200 מטרים של עובי החתך מבוססת על תיקון שנעשה לאור בדיקה בשדה של הנטיה (בסה"כ נקדח חתך של 264 מ').

בקידוחים שבתוך הבקע נמצאו שכבות של חבורת עבדת באזור תמנע, למשל בקידוח FG1 בעומק 433 מ'; ובקידוח IC3 בעומק 151 מ', וכן במחשופים בודדים בפתח נחל רחס. בצד המזרחי של הבקע תואר חתך של תצורת Umm Rijam (Ibrahim, 1991) שעיקרו חילופין של גיר, קירטון וצור.

בחלק התחתון מצויים צור ברקציוזי עם גיר, וקירטון ושכבות נושאות נומוליטים. החלק האמצעי גירי, עם מעט צור, והחלק העליון גיר, חולי במקומות עם צור. העובי המקסימלי שנמדד לחלק חתך זה בואדי ע'רנדל הוא 165 מ'. במספר מקומות נתגלה מעל לחתך הגירי-קירטוני, הבונה את רובה של החבורה, חתך חווארי-חרסיתי צהבה, בכמה מקרים עם שפע של מאובנים. חתך כזה תואר ע"י סקל (1967) כתצורת קציעות, על סמך הדימיון הליתולוגי עם שכבות מגיל דומה באזור ניצנה. השטרעות היחידה רחבה יותר ממה שהיה מוכר עד כה, ונמצאו לה שרידים מנחל ברק בצפון ועד גבעות מנוחה בדרום. גיל היחידה - איאוקן עליון. היא סומנה במפה בסימן Eq.

ה. תצורת חצבה

העדויות למציאותה בדרום הערבה מצטמצמות לאזור באר אורה ובקידוחים העמוקים בערבה בקרבת תמנע (ברטורא, 1978 המכנה חתך זה בשם "ניאוגן" ; ברטוב, 1967), שם מצויה תצורת רחס, האקוילונטית לפרט שחק (Sneh, 1981) של תצורת חצבה. צפונה יותר הוגדרה על ידינו תצורת חצבה בקידוח יעלון 8 בעובי 213 מ' (בסיסה לא אותר) וממדידות TDEM עולה כי הוא מצוי מתחת לבסיס הקידוח. כמו כן נמצא חלק החתך הנמוך ביותר של התצורה באזור נחל ברק בקרבת כביש הערבה, בקונגלומרט של חלוקי גיר. חלק גבוה יותר של התצורה המקביל לפרט גדרון, שעיקרו אבני חול אדומות ושכבות של פצלים, נחשף ממזרח לנחל הערבה, (מזרחית לנחל פארן).

באזור כיפת עשת תוארו מחשופים של התצורה ע"י סקל (1967) אשר מצא את הפרטים המוכרים בערבה הצפונית: פרט שחק - קונגלומרט הבסיס, פרט משק - של שכבות גיר, ופרט גדרון של חול בעובי כולל של 111 מ'. חתך מלא ועבה הרבה יותר תואר ע"י רוטשטיין ואחרים (1987) שהעריכו את עוביו, על סמך חתכים סיסמיים והשוואתם לחתך החשוף בגרבן כרכום, כעולה על 1000 מ'.

צפונה מקע סעידיין, בג'בל חריג', מתוארים (Bender, 1974) מחשופים של יחידות צעירות לתצורת חצבה. שכבות המתאימות לחלקה התחתון נמצאו רק בחלקו המזרחי של הבקע, באזור ע'רנדל. Ibrahim (1991) מתאר חתך דומה, הנקרא אצלו קונגלומרט של Dana, באזור המבנה של בוסיןאט, ועיקרו חוואר, פצלים וחול, בגו-קונגלומרט עשיר במיוחד בחלוקי צור. עובי החתך כאן - 271 מ'. בואדי ערנדל הוא מגיע ל-240 מ'. החלוקה שהוצעה ע"י Bender (1974), אינה עקבית, ועל כן לא ניתן לקיים בעקבותיו את האבחנה בין "קונגלומרט סינטקטוני תחתון" וקונגלומרט "סינטקטוני עליון", אך אפשר לומר בבטחון שיחידות מתאימות לתצורת חצבה נמצאו גם לרגלי ההרים מזרחה לערבה.

ניתן לקבוע שהיחידה עתיקה מ-7.3 מליון שנה - בזאת בהסתמך על הגיל שנמצא הבזלת המונחת מעליה בואדי דנה בירדן ואשר תוארכה לאחרונה בשיטת אשלגן-ארגון (Steinitz and Bartov, 1991). צפונה יותר, עד לאזור כפת עשת, אין אינפורמציה מקידוחים, אולם מבדיקת חתכי TDEM (ברטוב ואחרים, 1991), עולה כי שכבות תצורת חצבה אינן מצויות כאן ממערב לגדר המערכת, למעט בקידוח יעלון 8, וכי שכבות של קונגלומרט הערבה מונחות בד"כ ישירות על גבי סלעי תצורות ההר.

ו. קונגלומרט הערבה ותצורת מזר ("שכבות מילוי הבקע")

בעיה סטרטיגרפית נוספת, שטופלה במסגרת המחקר, הינה בעית טיבן של שכבות "מילוי הבקע", הגדרתן הסטרטיגרפית, ומידת המשכיותן. ברוב המקרים מדובר כאן ביחידות קלסטיות של אבני חול, חרסיות וחצץ גירי, שהוגדרו ברוב הקידוחים, אך מתברר שקיים קושי בהבחנתן משכבות של תצורת חצבה. מאחר והגיוון הליתולוגי של שכבות קלאסטיות אלה הוא רב, קשה לערוך קורלציה ביניהם ולאתר בהן מסמנים עקביים. השימוש בשמות "קונגלומרט הערבה" ו"תצורת מזר" מבוסס על דמיון ליתולוגי ויחסי שדה דומים לאלה המוכרים בערבה הצפונית (ברטוב, 1994) ועל הכרות עם קידוחים ומחשופים באזורים שכנים. מחשופי גבל חריג' אצל Bender (1968), הקרויים שם "קונגלומרט סינטקטוני עליון" מוצאים כאן מתחומן של יחידות אלה בשל שיוכן לתצורת חצבה. עובי שכבות המילוי בקידוחי יעלון מגיע לכ-300 מ' ביעלון 8, 219 מ' ביעלון 6, והן מתעבות דרומה. מעיון בחתכים סיסמיים של אזור אילת-יטבתה (ברטוב ורוטשטיין, 1990), נראה היה כי קיימת אפשרות ששכבות קרבונטיות חרסיתיות הנמנות על תצורת מזר (Shahar et al. 1967) יימצאו גם באזור זה. ואכן נמצאו שכבות כאלה בקידוחים אחדים שנבדקו במסגרת העבודה הנוכחית. יצויין כי חומר בידוד מתאים לבדיקות פליאונטולוגיות מתוך מטחני הקידוחים קשה ביותר, בעיקר בגלל גודל המדגמים ומצב השימור הגרוע שלהם. עד כה נמצאו עדויות לקיומן של שכבות אלה בקידוחים הבאים (ברטוב ואלמוגי-לבין, 1992):

יטבתה ת/3. (נ.צ. 1540/9187). הקידוח ממוקם ממזרח לקו השבר המרכזי של הבקע (ראה להלן), בגובה של כ-60 מ'. שכבות חוואריות, שייטכן והן שייכות לתצורת מזר, מצויות בשני אופקים: בעומק 84-93 מ' יש חומר המכיל צדפות ימיות ואוסטרקודה ברקיים, במצב שימור טוב. בעומק 108-120 מ' מצויים פורמיניפריים בנתונים ואוסטרקודה, אף הם במצב שימור טוב. בעומק 161-174 מ' יש אפשרות למציאותו של חומר אקוויטי נוסף, שהיה קשה להגדירו בין השכבות שצויינו לעיל מוצאים שכבות של קלסטטים גסים.

תמנע ת/2. (נ.צ. 1560/9180) הקידוח נמצא בצד המזרחי (?) של השבר המרכזי, בגובה של כ-58 מ'. בעומק 81-82 מ' מצויים Thecombiontes המצביעים על גוף מים מתוק. תמנע ת/37. (נ.צ. 1522/9065) גם הוא ממזרח לשבר, בגובה 71 מ'. בעומק 154-157 מ' נמצאו אוסטרקודה. בעומק 166-169 מ' נמצאה שכבה נוספת עם אוסטרקודה ימיים או ברקיים.

תמנע א/7. (נ.צ. 15015/92520) הקידוח נמצא ממערב לאזור השבר המרכזי (בגובה 102 מ'). בעומק 185-189 מ' נמצאו שרידי גסטרופודה קטנים, המצביעים על סביבת השקעה אקוויטית.

יעלון 8. (נ.צ. 16197/93590) מצוי מזרחית לשבר, בגובה 152 מ'. בעומק 243-252 מ' נמצאו פורמיניפריה בנתונים, של סביבה מרינית רדודה, במצב שימור טוב. בשלב זה של המחקר קשה לקבוע את גילן של השכבות הנ"ל: טווח הגילים של המאובנים בהן הוא מיוקן-רצנט, או אולי פליוקן-רצנט. מתחת להן, עד לתחתית הקידוח, הוגדרו שכבות של תצורת חצבה, ובהן אבני חול, חרסיות אדומות ושכבות של קונגלומרט.

מבנה

התאור המפורט של מבנה האזור ניתן ע"י גרפונקל, (1970), ואח"כ ע"י Garfunkel et al. (1981). המיפוי העדכני ביותר הוא של Bender (1974) בקנ"מ 1:100000, ושל Ibrahim (1988, 1991), בקנ"מ 1:50,000. עבודות אלה מציינות את השבר המרכזי של הערבה (Arava Fault) כאלמנט המרכזי, הנמשך מצפון מזרח לאורך השוליים המזרחיים של הבקע. לאורכו מוגדרים אזורים של מבני הלחיצה בג'בל חריג' ובג'בל רישה, אשר נוצרו לדעתם ע"י שינויים בכיוון השבר המרכזי, שהוא שבר תזוזה אופקית שמאלי (שעור תזוזה של 0.5-1.0 סמ' לשנה). אצל האחרון ממופה ממזרח לגבל חריג', ובמקביל לציר האורך שלו, שבר המוריד את הצד המזרחי, ומכונה כאן שבר הערבה-ים המלח, בהמשך לשבר הבא מן הערבה המרכזית בכיוון צפון-צפון-מזרח. מיקומו המשוער סומן במפה הנוכחית בעקבות העבודות הנ"ל (ציור 4), ללא אינפורמציה נוספת המבססת את קיומו. בגבל רישה וחריג' מקומטים סדימנטים ניאוגניים וקוורטרים, המגיעים לגובה של כ-250 מ' מעל פני הים. ודרומה יותר, במרכז הבקע, מצויה כיפה של משקעי תצורת חצבה, מקומטת אף היא. בחלקו הדרומי של האזור ניכר שבר השוליים המזרחי של הבקע הקרוי אצל Ibrahim (1991), בשם שבר עקבה-ע'רנדל. ברוב המקומות הוא סומן בהסתמך על קיום קו חד של שולי הערבה, ועל מציאותם של מבנים צרים של סלעי משקע בגבול המזרחי של הערבה כעדות לקיום שבר ראשי. (כדוגמת המבנה של בוסיןאט ושל תוריבין). קל יותר להבחין בשברים מקבילים לו, מזרחה יותר, בתוך המסיב הפריקמברי, כשהם מעמידים טפוסי סלעים שונים, האחד מול השני. במסגרת המחקר הנוכחי נסב עיקר המאמץ סביב איתורו של השבר המרכזי, שיקרא להלן "שבר יעלון", והממשיך את שבר ג'בל אל חריג' לדרום דרום מערב, (במקביל לשבר הערבה הנ"ל) אל עבר מלחת יטבתה ומלחת עברונה (גרפונקל, 1970; גרסון וגרוסמן, 1990). ההוכחות לקיומו מתבססות על פענוח מחדש של קידוח יעלון 8, בהשוואה לקידוחים שממערב ועל סקרי ה-TDEM. לדעתנו עובר השבר, שהוא בעל מרכיב אנכי ברור, בשטח שממערב לגדר המערכת, ממערב לקידוח יעלון 8, ודרך אתר קידוח יעלון 6. לשבר נוסף המצוי בקרבתו, ומקביל לו ממערב, מרכיב אופקי מוכח של לפחות 60 קמ', המסביר את ההבדלים בסטרטיגרפיה של חבורת יהודה בקידוחי יעלון (ראה לעיל). נראה שהשבר המרכזי אינו שבר בודד, ומדובר כאן באזור שבירה רחב, הבנוי קטעים מקבילים, ביניהם גם קטעים הנמצאים ממערב לקידוח יעלון 8. תמיכה באפשרות זאת עולה מציאותו של מבנה אנטיקלינלי קטן אשר אותר בנ.צ.מ. 167/947, (סביב נ.ג. 224), השעון כנראה על אחד השברים המזרחיים של מערכת זו, וממציאותם של שברים בקידוח יעלון 6, וממערב לו. ההתאמה הברורה של סלעי חבורת יהודה ממזרח לבקע (בבלוקים של ע'רנדל, תוריבין ובוסינאט) לסלעי החבורה באזור נויבה מצביעה על תזוזה של 110 ק"מ על מכלול שברי הבקע. הפחתת התנועה בת 60 הק"מ שעל שבר יעלון, מסה"כ התנועה, משאירה לשבר השוליים המזרחי (יחד עם השברים הנלוים אליו) תזוזה של כ-50 ק"מ.

בהעדר אינפורמציה אחרת, ועל סמך עיון בסקרי ה-TDEM (ברטוב ואחרים, 1991) אקסטרפולציה מאזור ג'בל רישה, והשוואה עם קידוחי הפרוספקציה העמוקים בתמנע אנו מניחים קיומו של טריז הבנוי סלעי תצורת חצבה ממזרח לשבר יעלון החל מהקטע שמזרחית לג'בל חריג' ועד לאזור תמנע. (ראה חתכי הרוחב בציור 6). אין בידינו בשלב זה שום אינפורמציה על המבנה הפנימי של טריז זה.

ממערב לשבר יעלון אותר שבר נוסף, התוחם את הבקע ממערב, שייקרא להלן שבר נוצה, אשר כיוונו לצפון-צפון-מערב. קטעים לא רצופים שלו נמצאו במחשופים שמדרום לשפך נחל חיון ובאזור שלוחת נוצה. במספר מחשופים נראה השבר כאוסף של מספר קוי שבירה תת מקבילים, וביניהם חשופות שכבות של תצורת מישש בנטיות חזקות. בנחל שיטה אותר השבר גם בתת הקרקע (פריזלנדר, 1993).

שבר נוצה הוא המשכי לאזור השוליים המערבי של הבקע מאזור גרופית, ובכיוון הכללי לצפון-צפון מזרח. תאור של שברים מקבילים לשבר זה באזור יהל מצוי אצל ליפשיץ (1986). דרומה יותר עולה מציאותם של שברים במערב הבקע רק מקידוחים, על כן קשה לקבוע את רציפותם, הנושא מחכה לברורו בעזרת סקר הרפלקציה הסייסמית. מידע חלקי לגבי נטיית השכבות באזור המחקר נלמד בסיורי השדה, וכך ממספר נקודות מדידה בשיטת TDEM (ברטוב ואחרים, 1991). מתברר שממערב לשבר יעלון קיימת נטיה מתונה של השכבות אל פנים הבקע וצפונה. תוצאה זו מתאימה גם להצעתו של Galay (1983), אשר הציג מפות סטרוקטורליות של גג חבורת כורנוב. מאידך לא ניתן היה למצוא עדויות מסייעות להצעתו של גולץ (1990), שהתווה שברים אחדים במרכז הבקע והציע פרטי מבנה המתבססים על ניתוח מורפומטרי.

2. הידרוגיאולוגיה

כללי

ההידרוגיאולוגיה של האזור נדונה במספר עבודות (כנפי, 1972; 1981; Byeth et al., נאור וכץ, 1988; נאור ושהרבני, 1989; נאור וגרניט, 1992; 1990; Rosenthal et al., 1992; Adar et al., ופינק, 1993), שמתוכם נדלו הנתונים המשמשים בעבודה זו. המפוי הגיאולוגי שבוצע במסגרת העבודה הנוכחית מצביע על מיקומם של שברי הערבה העיקריים, ומסייע בקביעה מדויקת יותר של השתרעותו ורציפותו של הבלוק הנמוך במרכז הערבה. האינטרפרטציה הגיאולוגית, המבוססת על המחשופים וממצאי הקידוחים, נותנת מקום להניח כי בבלוק זה קיים חתך בעובי של מאות רבות, ובמקומות גם אלפי מטרים, של תצורת חצבה המוצבת לטרלית כנגד החתך העתיק יותר, מהאיאוקן ועד הפליאוזואיקון. נראה שניתן להתייחס אל המבנה הכללי של האזור כאל טריז בעל חתך אקויפרי עבה הנמשך מקע-סעידין בצפון ועד הערבה הדרומית בואכה אילת. טריז זה מהווה בסיס ניקוז עילי ותת קרקעי לכל המים הנקוים במערב ובעיקר במזרח, ומוליך את המים דרומה. קידוחי המים הקיימים ממוקמים לאורך השוליים המערביים של טריז זה, מרביתם ממערב לשבר יעלון. תמונה שלמה של המצב ההידרולוגי באזור מחייבת התייחסות גם לקידוחים המצויים דרומה לשטח הנחקר, עד לאזור אילת.

אקויפריים, שכבות ניצול וכיווני זרימה

באזור הנתון מתקיימת הפקת מים משכבות שונות הכוללות את חתך המילוי הצעיר, (קונגלומרט הערבה), תצורת חצבה, חבורת יהודה וחבורת כורנוב. בדיקת נתוני המפלסים ונתונים כימיים מראה כי שכבות הניצול השונות אינן מכילות גופי מים נפרדים ודיסקרטים. מפות מפלסים שהוכנו בעבר בעבור שכבות הניצול הנפרדות אינן מראות הבדלים משמעותיים, ולמעשה ניתן לטפל במכלול נתוני המפלסים ולהכין מפת מפלסים אחידה המראה גרדינט דרומה. כמובן שבנית מפות המפלסים, המבוססת על נתונים לאורך השוליים המערביים של הבקע בלבד, מתבססת על הנחת הטריז המתעל את המים דרומה. מן הראוי להזכיר כי באזור מתקיימת מזה שנים שאיבה ניכרת, והשפעתה על המפלסים ועל המליחות ניכרת למדי. הדבר בולט במיוחד במפלסים בחבורת כורנוב. הירידה במפלסים, החריפה פי כמה בצפון האזור, גורמת להיפוך ועיוות כיווני הזרימה המקוריים. בחינת הנתונים הכימיים מראה תמונה דומה; הרכבי מים דומים מאפיינים לעתים קרובות את השכבות השונות בסמיכות גיאוגרפית, ומשני צידי שבר יעלון (למשל: יעלון 8 בתצורת

חצבה ממזרח לו, וקטורה 5 בחבורת כורנוב ממערב). מצד שני אין ספק שבמקומות קיימת הפרדה בין השכבות השונות, בעיקר בין שכבות המילוי העליונות והתחתונות, ובין לתצורות העתיקות יותר.

נתונים אלה מראים שבתפיסה כוללת יש להסתכל על מערכת המים באזור כעל מערכת אקויפריט רגיונלית אחת, המחולקת לתת יחידות באזורים שונים. למערכת זו יש כניסות של מים מתוקים, בעיקר לאורך גבולה המזרחי, וכניסות מלוחות מוכחות בעיקר בחלקה הדרום מערבי.

א. כניסת מים מתוקים: האינפורמציה הקיימת מאפשרת איפיון הרכב הכימי של הכניסות המתוקות, אבל איננה מספיקה לחישוב כמותן באופן נקודתי. הוברר שכל שמצינים בערבה יורדת מליחות המים בשכבות השונות. מרכיבי הקצה שזוהו הם המים בחבורת כורנוב. בקידוחי יעלון, ובמזרח קיימים מרכיבי קצה מתוקים עוד יותר: (1) ביר ביידא בחבורת כורנוב, המאפיין מים בקרבת אזורי מילוי חוזר המגיעים בסופו של דבר, ברובם, אל הערבה. (2) קידוחי עקבה המפיקים מתוך שכבות המילוי, והמוקמים בצידה המזרחי של הערבה, מייצגים אף הם קרבה לאזורי מילוי חוזר.

גם במערב האזור יש ככל הנראה כניסות מים מתוקים, אך נראה שהן קטנות יחסית. מקובל להניח כי ישנה תרומה משמעותית של מים מתוקים בשכבות חבורת כורנוב ממערב (בסיני). הנחה זו מבוססת על מודל קונספטואלי ועל דמיון מסוים בהרכב הכימי והאיזוטופי בין המים במספר בארות בערבה והמים בקידוח נחל בסיני (Rosenthal et al., 1972; Issar et al., 1989; נאור ושהרבני, 1989). האינפורמציה הקיימת איננה מספיקה על מנת לקבוע מה חלקם של מים אלה בקידוחים המפיקים מחבורת כורנוב בערבה לעומת מים הזורמים בתצורת חצבה (יעלון 8) שבמרכז הבקע, והמזינים לטרלית גם את השכבות העתיקות הבאות איתן במגע לאורך שבר יעלון.

המים הבאים ממערב בחבורת כורנוב מוגדרים כמים פוסיליים, וזאת בהנחה שהם מייצגים מערכת רגיונלית שעיקר המילוי החוזר בה התרחש בתקופות גשומות יותר. הטריטיום הנמוך שנמדד בחלק מהמים הנשאבים מבארות בחבורת כורנוב אין בו כדי לאשש או לסתור הנחה זו. מכיון שאין בידינו אינפורמציה לגבי מהירות הזרימה וזמן שהות המים במערכת בחלקיה השונים, לא ניתן להסיק מסקנות מתכולת הטריטיום בלבד. ירידת מפלסים הניכרת באזור מציינת ללא ספק "כריית" מים מהאוגר, הכולל, קרוב לודאי, מים בעלי שהות ארוכה באקויפר, שהם דלים בטריטיום. בהסתמך על הדמיון הכימי הקיים במערכת הנדונה נראה כי עיקר תרומת המים המתוקים הינה ממזרח ולאורך הערבה, בעוד שממערב ומלמטה מתווסף רכיב מלוח, הנדון בהמשך.

תרומות המים מתוקים קיימות ללא ספק גם בחבורות יהודה וכורנוב. ישנם נתונים מספיקים להניח כי תרומות אלה קטנות יחסית, ודעיכתן המהירה מעידה על תרומה בעיקר מאוגר מוגבל.

הרכב המים בכניסות המתוקות מתאפיין ע"י מליחות כללית (TDS) של 900-1500 מג/ל, יחסים מולריים גבוהים של Na/Cl (0.86-0.95), ויחסי SO_4/Cl בינוניים עד גבוהים (0.37-0.62). ההרכב האיזוטופי של החמצן במים אלה נע בין 5.2-ל-8.0 פרמיל.

ב. כניסות מים מלוחים: המכיב המלוח ביותר במערכת מזוהה באזור תמנע. אינפורמציה מקוטעת מקידוחי הפרוספקציה, המכרה הפתוח והמכרה התת קרקעי, מראה כי באזור מתקיים מיהול ביחסים שונים בין גוף מים מלוחים ומים מתוקים יחסית. המרכיב המלוח ביותר מצוי במכרה הפתוח ובסביבתו הקרובה. התמלחת באזור זה הינה בעלת מליחות כללית (TDS) של כ- 15,000 מ"ג/ל, ובעלת יחסים אופייניים לתמלחת Ca כלורידית. התמלחת מאופיינת ביחסי Na/Cl של 0.4-0.55, יחסי $Ca/(SO_4 + HCO_3)$ גבוהים מ-18, יחסי SO_4/Cl של 0.008-0.1, והרכב איזוטופי של חמצן קל בסביבות 8.0 - פרמיל. תמלחת זו דומה עקרונית לשאר תמלחות הבקע, ויש הרואים בה שריד למי ים, כנראה פליוקני, שהתאדו באזור (Beyth et al., 1981). לפי מודל זה מדובר בתמלחת שהיתה במקורה מרוכזת פי כמה (בעלת TDS של לפחות 350 ג/ל), וריכוזה כיום הינו תוצר מיהול עם מים מטאוריים.

הנחת מיהול זו עומדת בהתאמה עם ההרכב האיזוטופי הקל של החמצן. מדידות שנעשו בשנים האחרונות ע"י המכון הגיאולוגי במכרה הפתוח (בור N) ובסביבתו מראים כי באזור מתקיים אידיי משני של הגוף המהול, והדבר ניכר הן במליחות גבוהות יותר והן בהרכבים האיזוטופיים של החמצן, המגיעים ל-2.2+ פרמיל. בשאר אזור תמנע ובמכרה התת קרקעי, התמלחת פחות מרוכזת, ומעידה על מיהול ניכר. פינק (1993), המסכם את נתוני העבר, מראה כי במהלך השנים חלה ירידת מפלסים באזור המכרה הפתוח. ירידת המפלסים בקידוחים החודרים לאלוביום באזור מיוחסת על ידו בעיקר לשאיבה בקידוחי הערבה במזרח, בעוד שאת ירידת המפלסים בשכבות העמוקות יותר הוא מיחס לכרית מים מגוף סטגננטי ללא מילוי חוזר. באזור המכרה התת קרקעי, בו כאמור קיים רכיב מהול של התמלחת, לא ידוע על ירידת מפלסים דומה לשאר האזור, והמפלס ממשיך להיות גבוה במיוחד (60+ מ' (?)). פינק (1993) מיחס תצפית זו לקשר לגוף מים גדול יותר המהווה, אולי, חלק מגוף המים העמוק של סיני (Issar et al., 1972), ובחסימת הזרימה מזרחה לערבה.

ג. כניסות נוספות של מים ומלחים: בנוסף למרכיבי הקצה המתוקים והמלוחים ישנה קבוצת מים נוספת מתאפיינת בעיקר ע"י יחסי SO_4/Cl גבוהים. מדובר בקידוחי הקנומן בבאר אורה שאינם מפיקים יותר, ובקידוחים באזור יוטבתה בשכבות הקנומן והמילוי. ערכים קיצוניים של SO_4 ויחסי SO_4/Cl גבוהים במיוחד קיימים גם במי עין קטורה, מעין

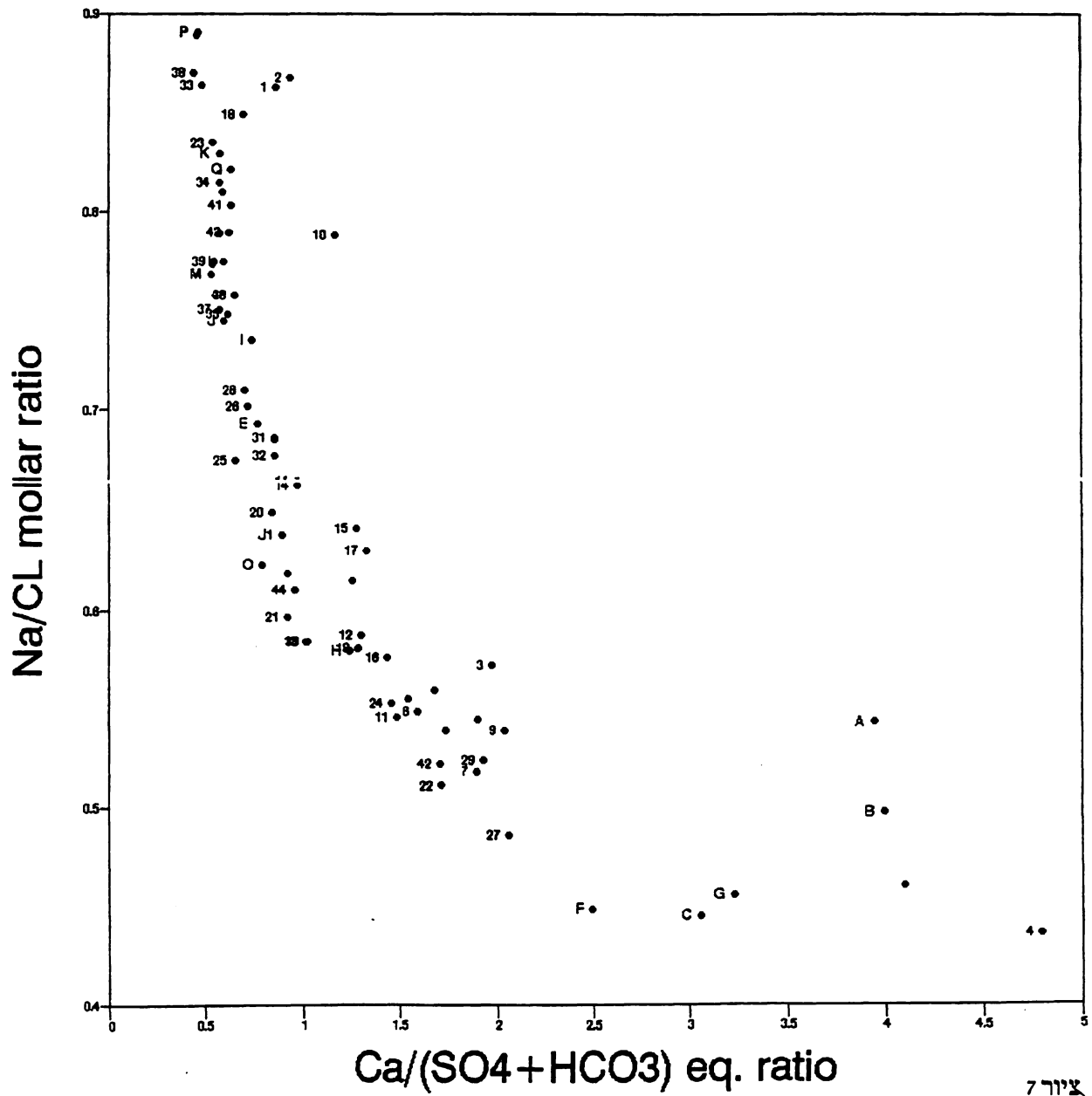
קטן הנובע בסלעי הטורון. בבאר אורה ובעין קטורה מדובר כנראה במעט מי מילוי חוזר, הממיסים גבס המצוי בחתך פצלי אורה, בעוד שבאזור מלחת יוטבתה הסולפט הגבוה מקורו ככל הנראה בהמסה של גבס משני ע"י מים הזורמים בבקע.

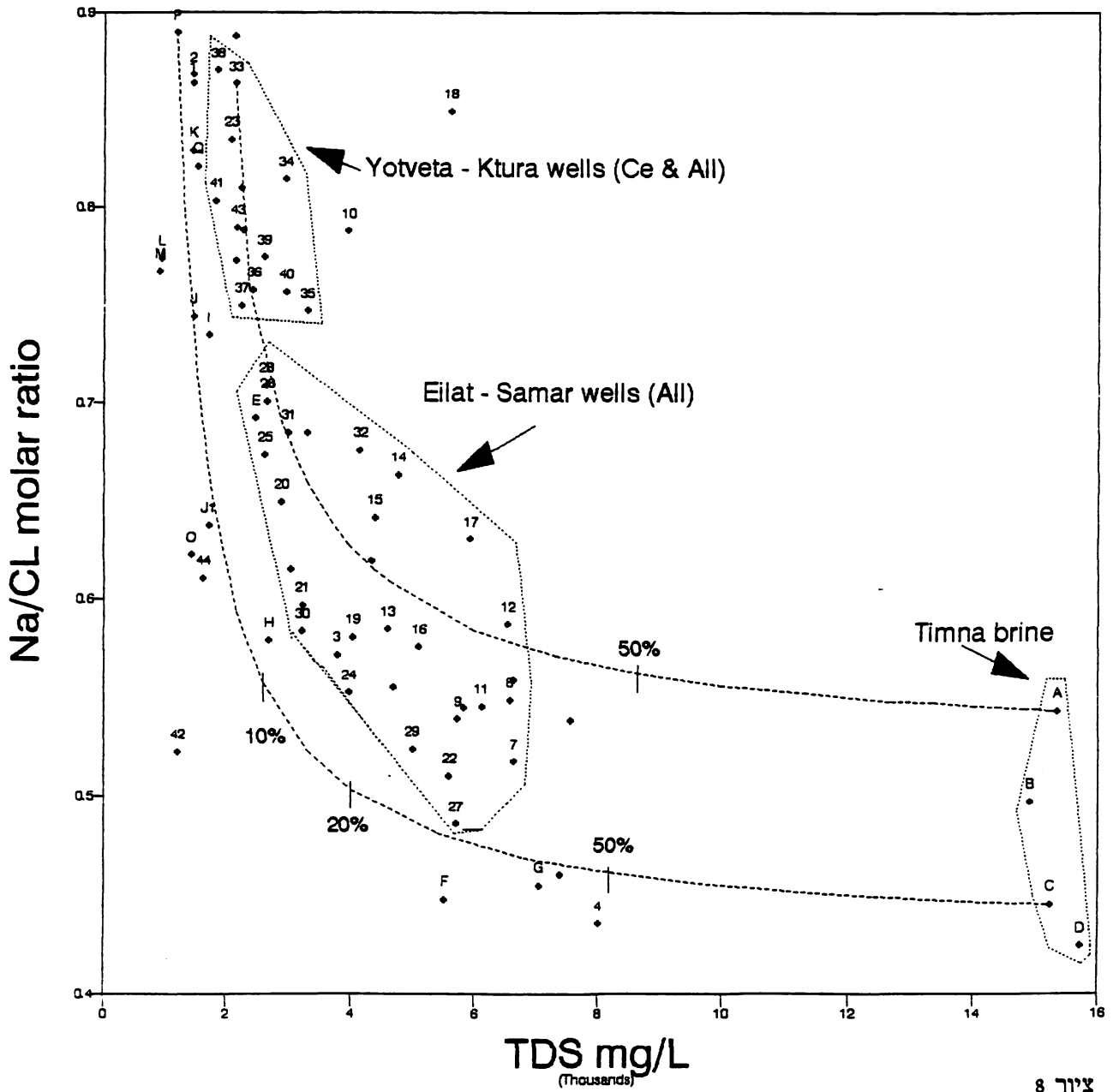
ד. התפתחות הרכב המים בערבה הדרומית בחינת ההרכב הכימי של המים באזור במערכת צירים של יחסי Na/Cl כנגד $(SO_4 + HCO_3)_4$ Ca (ציור 7), מראה התפתחות אופינית לתמלחות Ca כלורידיות שבהן ירידה ביחס ה- Na/Cl מלווה בתוספת Ca, המאוזן ע"י עודף הכלור לעומת ה-Na. התפתחות כזו ניתן לתרץ באבולוציה של התמלחות הללו דרך השקעה גוברת של הליט, חיזור סולפט ודלומיטיזציה. מצד שני, פזור הנקודות בשרטוט ניתן להסבר טוב יותר ע"י הנחת עירבוב בין מרכיבי קצה, הכוללים תמלחת Ca כלורידית מחד, ומים מטאוריים בעלי הרכב אופיני לאזור, מאידך. הנחת העירבוב מקבלת חיזוק בבחינת ההרכבים במערכות צירים של יחסי Na/Cl ו- SO_4/Cl כנגד TDS ובהן חישוב יחסי עירבוב בין מרכיבי הקצה (ציור 8 ו-9, בהתאמה).⁴ בציורים אלה ניתן לראות כי כל המים המצויים בחתך הקלסטי ובעומק גדול (440-880 מ') בחבורת כורנוב ובתצורת חצבה (יעלון 8), נופלים לאורך קו העירבוב התחתון.

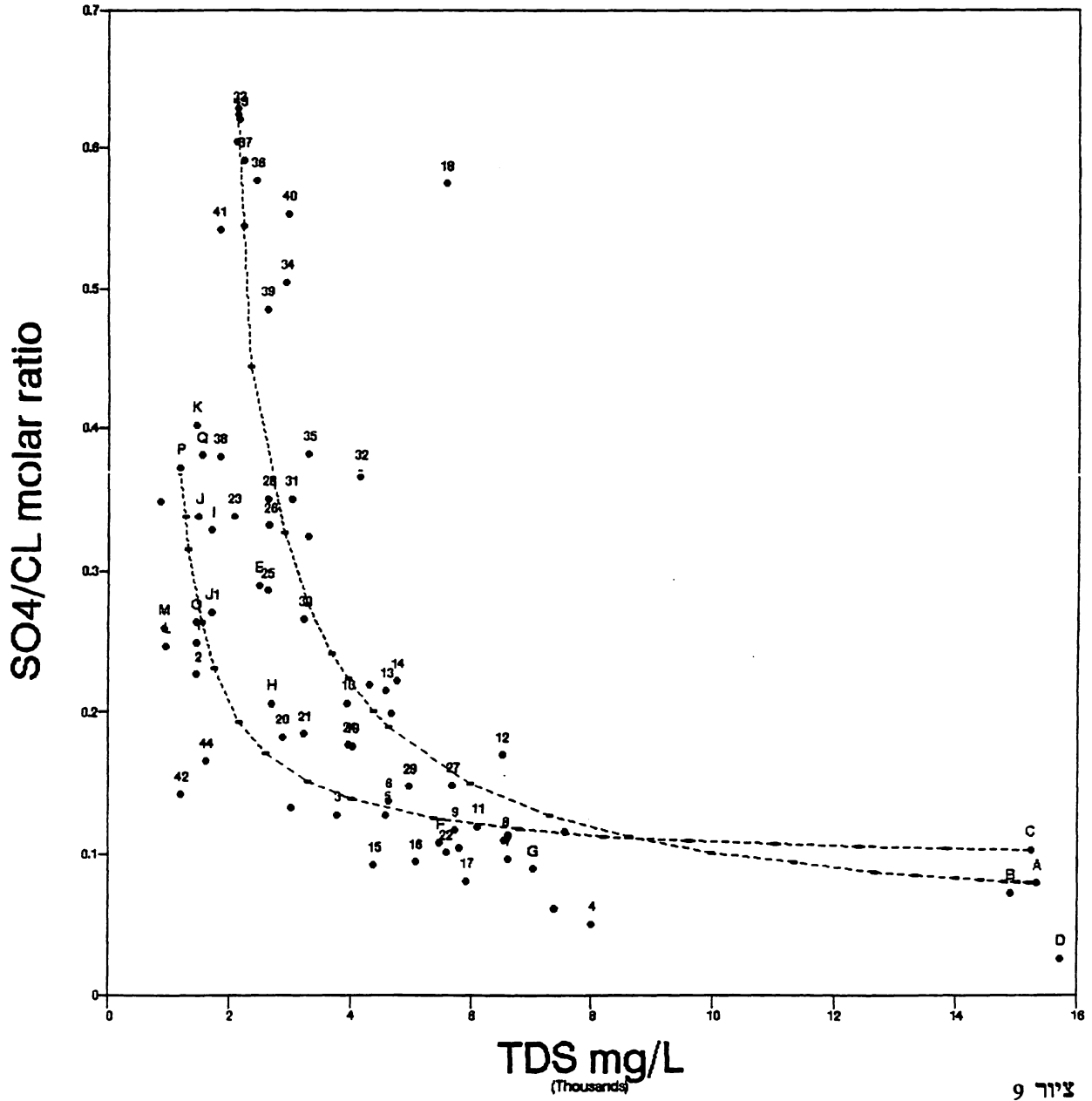
ההטרוגניות הגבוהה יחסית של מרכיב הקצה המלוח בתמנע נותנת מקום לקוי עירבוב שונים, שלאורכם נופלים מרבית הרכבי המים במערכת. הסטיות כאמור, יכולות לנבוע מגורמים מקומיים, הקשורים בהמסה ישירה של מינרלים מסיסיים (בעיקר גבס ומעט הליט וכן מלחים מרים) או בתוספת שולית של מים הבאים במגע עם מינרלים כאלה. בחינת הרזולוציה של הפרמטרים הכימיים והקונסיסטנטיות של הנתונים במרחב ובזמן שוללים חלוקה של גופי המים על בסיס נקודתי (ראה טבלה 1) הדבר נכון, להערכתנו, גם לגבי הנתונים האיזוטופיים.

ה. מערכת הזרימה האזורית בהסתמך על המפלסים באזור, ועל הרכבם הכימי של המים, נראה כי מדובר בגוף מים מתוקים הזורם דרומה בשכבות המילוי ובשכבות העתיקות יותר. עיקר הזרימה מתקיימת ככל הנראה בבלוק הנמוך של הבקע ובשוליו הקרובים. מוליכות הידראוליות המשתנה לטרלית וורטיקלית, וריבוי אופקים חרסיתיים, גורמים לחציצה ההולכת וגוברת כלפי דרום. כתוצאה מתנאים אלה מתקיימים תנאי כליאה, מפלסים שונים, והרכבי מים המעידים על מיהולים שונים.

הרכיב המלוח המוכר מאזור תמנע, ניכר היטב אך במינון שונה, בקידוחים המפיקים מחבורת כורנוב (קידוחי גרופית, קטורה זיעלון) ובקידוחים המפיקים משכבות המילוי, מסמר ועד אילת. מנגנוני הזרימה והעירבוב אינם ברורים כל צרכם. ההרכבים הכימיים מראים, להערכתנו, על קיום קשר ברור בין גוף התמלחת באזור תמנע והמים הזורמים בערבה. השאלה המכרעת היא האם התמלחות באזור תמנע מונעות ע"י מערכת אקויפרית רגיונלית בשכבות חבורת כורנוב במערב (Issar et al., 1972), או שמא נקבעים הלחצים בתמלחת ע"י מערכת הזרימה בערבה, מצפון.







להערכתנו האפשרות השניה היא הגורם העיקרי, והיא זו המניעה את מנגנוני העירבוב המקוריים. השאיבה המתמשכת באזור וניצול מים מתוקים בכמות העולה על המילוי החוזר משפיעים על מנגנוני העירבוב ומגבירים אותם.

הקשר הכימי החד משמעי בין גוף התמלחת בתמנע לקידוחים העמוקים בצפון (מגרופית 3,5,1-ו-4 דרך קטורה 14-5, יעלון 1,6,6A, 5 ו-7, כולל יעלון 8) מחזק את האפשרות לקשר הידראולי ישיר, הקובע את הלחצים בשכבות העמוקות מכילות התמלחת בתמנע. הגברת שאיבת המים המתוקים בצפון שהביאה לירידת מפלסים ניכרת, והיפוך כיווני הזרימה בחבורת כורנוב היא זו שגרמה ככל הנראה לירידת מפלסי התמלחת באזור המכרה הפתוח בתמנע, ובעליה עם הזמן של הרכיב המלוח בקידוחים בצפון (ראה קטורה 5 ב-1981 וב-1990 בשרטוט 7 ובטבלה 1). מוליכות הידראולית גבוהה יותר גורמת למפל לחץ דרומה, נמוך יותר בשכבות העמוקות, וכתוצאה מכך המפלסים בתמלחת בתמנע גבוהים יותר מאלה שבשכבות המילוי בערבה, ממזרח לתמנע ומדרומה. במצב זה מתאפשר המיהול הנראה היטב בכל הקידוחים באזור זה.

מלחת יוטבתה, המהווה שקע טופוגרפי אזורי בו מתאפשרת עליה של מי התהום הכלואים אל קרבת פני השטח ואידוי אינטנסיבי, משפיעה אף היא על הזרימה האזורית והתפתחות הרכב המים באזור. השקעת גבס מסיבית בתת הקרקע, לעומק של עשרות רבות של מטרים מעלה את ריכוז הסולפט במימי האזור הן בשכבות תצ' חצרה (יוטבתה 10, 2, 11, גרופית 1, 2 וקטורה 115) והן בשכבות המילוי (יוטבתה 13) ומפחיתה את המוליכות ההידראוליות בחלק העליון של החתך. כלומר, יתכן ומלחת יוטבתה מהווה מחסום חלקי לזרימת המים המתוקים דרומה.

ירידת המפלסים הקטנה, יחסית, באזור שמדרום למלחת יוטבתה ועד אילת, וההמלחה ההדרגתית בתגובה לניצול המסיבי, מעידים כי חלק מהשיוב במערכת מקורו בתמלחות.

עקרונות לחישוב מאזני מים באזור

האינטרפטציה של המערכת ההידרוגיאולוגית בדרך המוצגת כאן מראה כי את מאזני המים האזוריים יש לבסס על העקרונות (הפשוטים) הבאים:

1. חישוב זרימה במספר רצועות רוחב המבוסס על גרדינטים, מוליכות וחתך זרימה המסתמך על נתונים והנחות הידרוגיאולוגיים.
 2. חישוב יחסי עירבוב בין מרכיבי הקצה לפי המידגם בציור 8 ו-9.
- בחינת המערכת וכיולה תעשה בדרך של חישוב מאזני חוזר, במספר פרק זמן, וזאת בהסתמך על נתוני העבר (מפלסים) ונתוני הפקה מצטברים (כמות מים והרכב כימי).

המלצות לקידוחים ותפעול המערכת

1. בנסיון לנצל בצורה יעילה יותר את רכיב המים המתוקים במערכת מוצע לקדוח קידוח עמוק (400-500 מ') בקצה הצפוני של מלחת יוטבתה, בנקודה המזרחית ביותר האפשרית. בהנחה שניתן להגיע לנקודה כזו מעבר לשבר יעלון, וזאת במטרה להגיע לתצורת חצבה.

הוכחה סופית לאפשרות כזו צריכה להתבסס על פענוח הסקר הסייסמי באזור. באם יוברר שאין אפשרות לקדוח מזרחית לשבר, יש לשאוף לקדיחה אל שכבות חבורות יהודה וכורנוב, מזרחית ככל האפשר. בקידוח כזה יש סיכוי לתפוס את הרכיב המתוק לפני עירבובו עם התמלחת, ובעומק שבו הגבס המשני צפוי להעלם.

2. בהנחה כי אכן מתקיימים יחסי עירבוב בין התמלחת הנדחפת לערבה מכיוון מערב, בעיקר בתמנע, ובין מים מתוקים שמקורם בעיקר ממזרח ומצפון מזרח, חשוב לשקול הפקה משולבת של תמלחת ומים בערבה. הפקת מים מתמשכת בערבה בלבד צפוי שתמשיך ותגרום לירידת מפלסים מתונה יחסית ולעליה חלקית של התמלחת במי התערובת הנשאבים.

באם אכן נכונה הערכתנו בדבר הקשר בין המפלסים בשכבות העמוקות בצפון, והתמלחת בתמנע, סביר שניצול המים הגובר בצפון וירידת מפלסים נוספת הינה בבחינת הפקה משולבת. לעומת זאת, באם התמלחת בתמנע מונעת ע"י קשר לאקויפר רגיונלי במערב, הפעילות בצפון תשאר חסרת השפעה, ותידרש הפקה משולבת מקומית.

ספרות (בעברית)

בן גיא, י., פריזלנדר, א., רוטשטיין, י., 1993. סקר סייסמי בהפרדה גבוהה באזור עברונה - דו"ח מסכס. המכון למחקרי נפט וגיאופיזיקה, דו"ח P0/357/93.

בנימיני, ח., 1979. ההסטוריה הגיאולוגית של מרכז ודרום ארץ ישראל באיאוקן. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

ברטוב, י., ורוטשטיין, י., 1990. מבנה הערבה הדרומית-תוצאות ראשוניות של סקר רפלקציה סייסמית. כנס החברה הגיאולוגית, אילת, עמ' 23.

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

ברטוב, י., 1994. הגיאולוגיה של הערבה, דברי הסבר למפה הגיאולוגית 1:50,000. דו"ח המכון הגיאולוגי, GSI/4/94.

ברטוב, י., ואלמוגי-לבין, א., 1992. הגיאולוגיה של הערבה בין יטבתה לפארן - דו"ח התקדמות, TR-GSI/11/92.

ברטוב, י., גולדמן, מ. רונן ע., 1991. המשך בדיקות ישימות שיטת TDEM לפתרון בעיות גיאולוגיות בארץ ישראל דוח התקדמות שלב ג. המכון למחקרי נפט וגיאופיסיקה חולון, והמכון הגיאולוגי, ירושלים.

ברטורא, י. 1978. דוח מסכס, קידוחים לנחוש בערבה, 1976-1970. מכרות נחושת תמנע. גולץ, ס., 1990. סקר מורפוטקטוני של דרום הערבה בין גזרת יעלון לתמנע. ירושלים.

גינת, ח., 1989. הגיאולוגיה והגיאומורפולוגיה של אזור יטבתה. עבודת גמר לתואר מוסמך האוניברסיטה העברית, ירושלים.

גרסון, ר., וגרוסמן, ש., 1990. שלבים בהתפתחות בקע הערבה: איתור ותיארוך אירועים טקטוניים בשיטות גיאומורפולוגיות, ומשמעותם ביחס לסיסמיות בהווה. מינהל המחקר למדעי האדמה, משרד האנרגיה והתשתית.

גרפונקל, צ., 1970. הטקטוניקה של השוליים המערביים של מפרץ אילת (תרומה לדרך היוצרות בקעים). עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

כנפי י., 1972: משטר הזרימה בערבה והשפעתו על הגיאוכימיה של המים. עבודת גמר לתואר מוסמך במדעים, האוניברסיטה העברית ירושלים.

ליפשיץ, א., 1986. הגיאולוגיה של אור נחל יעלון. עבודת גמר לתואר מוסמך, אוניברסיטת תל אביב.

נאור ה., וגרניט י., 1992. סיכום מימצאים הידרוגיאולוגיים של קידוחי אילת 106, 104, 105. דו"ח תה"ל 04/93/16.

נאור, ה., כץ, ד., 1988. אזור עברונה-אילת, בדיקת המצב ההידרולוגי ואפשרויות פיתוח מים מליחים להתפלה. דו"ח תה"ל 01/88/32.

נאור, ה., שהרבני, מ., 1989. אזור תמנע-יהל - בדיקת המצב ההידרולוגי והתפעולי של האקופירים ושל קידוחי ההפקה. דו"ח תה"ל 01/89/40.

סקל, ע., 1967. הגיאולוגיה של רכס מנוחה. עבודת גמר לתואר מוסמך האוניברסיטה העברית, ירושלים.

פינק, מ., 1993. בדיקת מקורות מי תהום מליחים באזור תמנע (חוות דעת ראשונית). דו"ח תה"ל 16/93/04.

פפרו, ה., 1969. דווח על פענוח חוזר של מדידות התנגדות חשמלית, הערבה הדרומית. דוח 68/625/גח'.

פריזלנדר, א., 1993. סקר רפלקציה סיסמית בהפרדה חצי גבוהה לקביעת מיקום קידוח באזור שיזפון-ציחור. דו"ח ממנ"ג 191/304/92.

רוטשטיין, י., ברטוב, י., גרפונקל, צ., 1987. פענוח סקר סייסמי בגרברן כרכום. דו"ח הממנ"ג 75/1563/86.

Adar, E.M., Rosenthal, E., Issar, A.S. and Batelaan, O., 1992. Quantitative assessment of the flow pattern in the Southern Arava Valley (Israel) by environmental tracers and a mixing cell model. J. Hydrology, 136: 333-352.

Bartov, Y., Eyal, Y., Garfunkel, Z., Steinitz, G., 1972. Late Cretaceous and Tertiary Stratigraphy and Paleogeography of Southern Israel. Isr. Jour. Earth Sci. 12 : 69-97.

Bender, F., 1974a. Geology of Jordan. Contribution to the Regional Geology of the Earth. Supplementary edition of Vol. 7. 196 pp.

Bender, F., 1974b. Explanatory notes on the Geological Map of the Wadi Araba, Jordan. Scale 1:100 000, 3 sheets.

Beyth, M., Starinsky, A. and Lazar, B., 1981. Low temperature saline waters, Timna, Southern Israel. Report M.P. 606/81 and T.D. 52/81.

Freund, R., Garfunkel, Z., Zak, I., Goldberg, M., Weissbrod, T. and Derin, B., 1970. The shear along the Dead Sea Rift. Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A, 267: 107-130.

Galay, A., 1983. Geology and hydrology of the Arava Valley, based on well data. Tahal, Rep. 01/83/40.

Garfunkel, Z., Bartov, Y., Eyal, M. and Steinitz, G., 1974. Raham Conglomerate - New evidence for Neogene Tectonism in the Southern part of the Dead Sea Rift. Geol. Mag., 111: 55-64.

Garfunkel, Z., 1981a. Active faulting in the Dead Sea Rift. Tectonophysics, 80: 1-26.

Garfunkel, Z., 1981b. Internal structure of the Dead Sea leaky transform in relation to plate kinematics. Tectonophysics, 80: 81-108.

Ibrahim, K., 1988. Wadi Gharandal, map sheet 3050 III, scale 1:50,000. Geol. Dir. Natural Resources Authority, Jordan.

Ibrahim, K., 1991. The Geology of the Wadi Rahma, map sheet 3049 IV. Geol. Dir. Natural Resources Authority, Jordan.

Issar, A., Bein, A. and Michaeli, A., 1972. On the ancient water of the Upper Nubian Sandstone aquifer in Central Sinai and Southern Israel. J. Hydrology, 17: 353-374.

May, P.R., 1968. Gravimetric estimation of depth of aquifers in the Hazeva area, Arava Valley, Israel. Isr. Jour. Earth Sci. 17: 30-43.

Neev, D. and Emery, K.O., 1967. The Dead Sea. Geol. Surv. Isr. Bull. 41.

Rosenthal, E., Adar, E.M., Issar, A.S. and Batelaan, O., 1990. Definition of groundwater flow pattern by environmental tracers in the multiple aquifer system of Southern Arava Valley, Israel. J. Hydrology, 117: 339-368.

Shahar, Y., Reiss, Z. and Gerry, E., 1966. A new outcrop of Marine Neogene in the Negev. Isr. Jour. Earth Sci. 15: 82-84.

Shahar, Y., 1973. The Hazeva Formation in the Oron - efe syncline, Israel. Isr. Jour. Earth Sci. 22: 31-49.

Sneh, A., 1981. The Hazeva Formation in the Northern Arava, Israel. Isr. Jour. Earth Sci. 30: 81-91.

Steinitz, G. and Bartov, Y., 1981. The Miocene - Pliocene history of the Dead Sea segment of the Rift in the light of K-Ar ages of Basalts. Isr. Jour. Earth Sci. 40: 199-208.

רשימת הציורים והטברים

ציור 1 - אזור העבודה.

מפת תיחום לגליונות 1:50,000:

I - גליון יטבתה

II - גליון יהל

III - גליון פארן

מקורות המפוי:

1. בעקבות גינת, 1989

2. בעקבות Ibrahim, 1991

3. בעקבות ליפשיץ, 1986

4. בעקבות Ibrahim, 1988

5. בעקבות סקל, 1967

6. בעקבות Bender, 1974

שאר האזורים - המפוי הנוכחי

ציור 2 - חתך גיאולוגי עמודי מוכלל של אזור העבודה (בכיס)

ציור 3 - מפה איזופחית של חבורת יהודה.

ציור 4 - קוי השבירה העיקריים בערבה.

ציור 5 - מפה גיאולוגית של האזור בקנ"מ 1:50,000 (בכיס)

ציור 6 - חתכי רוחב באזור (בכיס).

ציור 7

יחסי יונים במימי הערבה התיכונה - התפתחות אופינית לתמלחת Ca כלורידית וליחסי מיהול בין מרכיבי קצה. הנקודות מזוהות בטבלה 1; אותיות מגדירות קידוחים עמוקים בחבורת כורנוב.

ציור 8

יחסי יונים במימי הערבה התיכונה. הקוים המקווקוים מציינים גרף מיהול בין מרכיב קצה בתמלחת תמנע ומרכיב קצה מטאורי. יחסי המיהול (תכולת תמלחת בתערובת) מצוינים באחוזים על הגרף. הנקודות מזוהות בטבלה 1; אותיות מגדירות קידוחים עמוקים בחבורת כורנוב.

ציור 9

יחסי יונים במימי הערבה התיכונה. הקוים המקווקוים מציינים גרף מיהול בין מרכיב קצה בתמלחת תמנע ומרכיב קצה מטאורי. הנקודות מזוהות בטבלה 1; אותיות מגדירות קידוחים עמוקים בחבורת כורנוב.

טבלה 1.

הרכב כימי של מקורות המים בערבה התיכונה. המספרים בטור הראשון משמאל הינם מספרי הזיהוי בגרפים.

הרכב כימי של מקורות המים בערבה התיכונה. המספרים בטור הראשון משמאל הינם מספרי הזיהוי בגרפים.

ID	Location	Well ID	Depth	Aquifer	Date	mg/L										Ca/		SO4/	Cl	O18
						TDS	Mg	Ca	Na	K	SO4	HCO3	Cl	Br	Na/	SO4+	Ca/			
1	14988	88151	Aqaba	Haf15	AI	4.3.60	1456	38	164	276	333	152	493			0.86	0.9	2.6	0.25	
2	14941	88343	Aqaba	Haf1	AI	4.3.60	1461	42	166	287	313	143	510			0.87	0.9	2.4	0.23	
3	14597	88468	Wakat	Shev	94 AI U	25.8.63	3776	99	542	667	11	616	55	1797		0.57	2.0	3.3	0.13	
4	14750	88610	Eilat	101	138 AI U	26.6.92	8018	190	1310	1290	23	624	40	4564	35	0.44	4.8	4.1	0.05	-6.1
	14750	88610	Eilat	101	138 AI U	17.3.85	7380	197	1192	1215		672	34	4070		0.46	4.1	3.6	0.06	
5	14750	88750	Eilat	T/22D	246 AI D	13.6.82	4598	248	680			940		2730			1.7	1.6	0.13	
6	14750	88750	Eilat	T/22S	150 AI U	15.6.82	4631	204	728			990	49	2660			1.7	2.1	0.14	
7	14745	88761	Eilat	102	217 AI U+D	26.6.92	6613	300	760	1150	25	896	85	3422	26	0.52	1.9	1.5	0.10	-6.7
	14745	88761	Eilat	102	217 AI U+D		5819	255	700	1036	28	826	72	2930		0.54	1.9	1.6	0.10	
	14745	88761	Eilat	102	217 AI U+D	17.3.85	6623	324	748	1190		1009	73	3279		0.56	1.7	1.4	0.11	
	14685	88783	Eilat	10	59 AI U	17.3.85	7554	346	904	1304		1166	104	3730		0.54	1.7	1.6	0.12	
8	14685	88783	Eilat	10	59 AI U	26.6.92	6554	290	710	1170	31	980	117	3287	32	0.55	1.6	1.5	0.11	-6.7
9	14749	88798	Eilat	16	39 AI U	17.3.85	5727	192	800	980		890	65	2800		0.54	2.0	2.5	0.12	
10	14770	88860	Eilat	T/23D	221 AI D	22.7.85	3958	164	441	828		905		1620		0.79	1.2	1.6	0.21	
11	14780	88885	Eilat	103	210 AI D	26.6.92	6104	290	640	1080	24	986	59	3049	22	0.55	1.5	1.3	0.12	
	14780	88885	Eilat	103	210 AI D	13.1.88	4327	199	437	728		1078	73	1812		0.62	0.9	1.3	0.22	-7.2
12	14800	88965	Eilat	17	145 AI U	15.1.81	6517	317	751	1116		1350	55	2928		0.59	1.3	1.4	0.17	
13	14880	89130	Eilat	18		15.1.81	4590	253	504	718		1100	122	1893		0.58	1.0	1.2	0.21	
14	14910	89170	Evrona	T/3	196 AI D	14.6.77	4765	245	486	850		1185	24	1975		0.66	1.0	1.2	0.22	
15	14880	89250	Eilat	104	212 AI U+D	25.6.92	4379	180	340	940	32	562	98	2259	22	0.64	1.3	1.1	0.09	-7.0
16	14890	89390	Eilat	105	186 AI U+D	25.6.92	5098	270	440	990	35	676	73	2649	22	0.58	1.4	1.0	0.09	-7.1
17	14960	89550	Eilat	106	168 AI U+D	25.6.92	5925	280	410	1300	40	692	63	3180	30	0.63	1.3	0.9	0.08	-7.0
18	15160	89620	Evrona	T/2D	196 AI D	24.6.77	5605	255	687	820		2317	37	1489		0.85	0.7	1.6	0.57	
19	15141	89861	Eilat	109	204 AI	31.8.93	4023	172	494	660	23	832	115	1750	15	0.58	1.3	1.7	0.18	
20	15172	89950	Evrona	3	208 AI	23.11.93	2882	167	241	524	22	615	91	1244	7	0.65	0.8	0.9	0.18	
	15175	89950	Evrona	2	210 AI U+D	25.6.81	3027	176	303	555		500	102	1391		0.61	1.3	1.0	0.13	
21	15175	89950	Evrona	2	210 AI U+D	7.92	3217	175	300	542	24	700	100	1400		0.60	0.9	1.0	0.18	-6.6
22	15150	90030	Eilat	T/108	336 AI D	7.9.93	5592	319	615	940	34	776	104	2838		0.51	1.7	1.2	0.10	
23	15150	90030	Eilat	T/108	336 AI U	27.10.93	2070	119	166	355	15	605	169	656		0.83	0.5	0.8	0.34	
	14733	90228	Beer Ora	1	Ce	2.65	2335	160	257	215	15	1218	174	312		1.06	0.5	1.0	1.44	-6.3
24	15013	90518	Tinna	7	180 Q	1971	3980	146	580	595		792	208	1659		0.55	1.5	2.4	0.18	
25	15100	90583	Tinna	3	125 Q	1988	2613	189	234	395	18	702	189	904		0.67	0.7	0.7	0.29	
26	15110	90646	Tinna	4	105 Q	1980	2657	150	279	392		780	194	862		0.70	0.7	1.1	0.33	
27	14994	90728	Tinna	6/A	134 Q	1990	5700	112	995	816	28	1045	142	2590		0.49	2.1	5.3	0.15	-7.9
	14994	90728	Tinna	6/A	134 Q	1983	4679	135	745	690		1030	165	1914		0.56	1.5	3.3	0.20	
A	14850	90800	Tinna-N	-8	PZ	8.91	*****	91	2810	2800	33	1710		7940	78	0.54	3.9	18.5	0.08	2.2
	14850	90800	Tinna-N	pool	PZ	8.91	*****	106	6030	6500	62	1464		19830	190	0.51	9.9	34.1	0.03	
B	14850	90800	Tinna-N	-15	PZ	8.91	*****	86	2630	2590	31	1580		8028	80	0.50	4.0	18.3	0.07	
C	14850	90800	Tinna-N	-15	PZ	1.91	*****	81	2800	2275	32	2200		7883	71	0.44	3.1	20.7	0.10	
28	15150	90800	Tinna	1/B	39 Q	1980	2632	151	280	380		788	207	826		0.71	0.7	1.1	0.35	
29	15025	90875	Tinna	14	200 Q	1984	4993	108	820	765		900	150	2250		0.52	1.9	4.6	0.15	
D	15009	90879	Tinna	FB181	LC	10.66	*****	11	3236	2550	41	646	24	9270		0.42	11.7	184.9	0.03	
30	15171	91162	Tinna	5	110 Q	1978	3225	146	430	440		835	213	1161		0.58	1.0	1.8	0.27	
31	15330	91300	Samar	3	150 Q	1979	3000	125	387	420		902	221	945		0.69	0.9	1.9	0.35	
32	15270	91402	Samar	2	103 Q	1990	4144	198	530	576	48	1312	215	1313		0.68	0.9	1.6	0.37	-7.7
	15279	91402	Samar	2	103 Q	1975	3300	151	406	480		954	228	1081		0.68	0.9	1.6	0.33	
	15610	92130	Yotveta	13	134 Q	1980	2130	145	186	280		796	237	486		0.89	0.5	0.8	0.60	
33	15510	92130	Yotveta	13	134 Q	1990	2154	140	200	280	16	845	189	500		0.86	0.5	0.9	0.62	-6.7
E	15508	92221	Yotveta	T/9	130 LC	1967	2474	122	266	374	27	654	226	833		0.69	0.8	1.3	0.29	-7.8
34	15561	92288	Yotveta	2	50 Ce	1978	2939	177	298	400		1033	274	757		0.81	0.6	1.0	0.50	
35	15670	92416	Yotveta	12	120 Ce	1975	3299	206	320	486		1037	247	1003		0.75	0.6	0.9	0.38	

ID	Location	Well ID	Depth	Aquifer	Date	mg/L								Ca/						
						TDS	Mg	Ca	Na	K	SO4	HCO3	Cl	Br	Na/ Cl	SO4/ HCO3	Ca/ Mg	SO4/ Cl	018	
	15605	92489	Yotveta	11	64	Ce	1977	2251	135	245	282	790	262	537	0.81	0.6	1.1	0.54		
36	15605	92489	Yotveta	11	64	Ce	1990	2440	140	300	280	22	890	260	570	0.76	0.7	1.3	0.58	-7.1
F	15751	92583	Grofit	5	445	LC	1979	5509	150	958	775	782	176	2668	0.45	2.5	3.8	0.11		
37	15614	92657	Yotveta	10	67	Ce	1978	2253	145	250	250	823	271	514	0.75	0.6	1.0	0.59		
G	15454	92690	Grofit	3	400	LC	1979	7031	109	1308	1051	860	143	3560	0.46	3.2	7.2	0.09		
38	15619	92746	Yotveta	3	75	Ce	1978	1841	117	125	320	584	128	567	0.87	0.4	0.6	0.38		
H	15756	92750	Grofit	4	391	LC	1994	2694	112	384	386	20	572	215	1026	0.58	1.2	2.1	0.21	
39	15705	92858	Grofit	2	116	Ce	1976	2608	177	252	343	897	256	683	0.77	0.6	0.9	0.48		
	15750	93150	Grofit	1	123	Ce	1976	2152	145	228	237	805	264	473	0.77	0.5	0.9	0.63		
40	15750	93150	Grofit	1	123	Ce	1990	2967	200	350	358	18	1090	240	729	0.76	0.7	1.1	0.55	
I	15797	93249	Ktura	4	450	LC	1978	1713	82	196	243	456	226	510	0.73	0.7	1.4	0.33	-7.5	
	18000	93300	Bir Baida	sp	LC	24.10.66	859	48	85	120	7	185	227	195	0.95	0.6	1.1	0.35	-5.9	
41	16003	93435	Ktura	115	225	Ce	1986	1839	46	225	224	630	284	430	0.80	0.6	2.9	0.54		
42	15795	93452	Ktura	3		Ce	1981	1215	35	184	183	208	65	540	0.52	1.7	3.2	0.14		
	16008	93453	Ktura	15	134	Q	1984	2265	148	267	226	880	302	442	0.79	0.6	1.1	0.74		
43	16008	93453	Ktura	15	134	Q	1990	2164	142	254	258	16	846	160	504	0.79	0.6	1.1	0.62	-5.3
J	16007	93456	Ktura	5	473	LC	1981	1471	96	143	195	372	261	404	0.74	0.6	0.9	0.34	-6.3	
J1	16007	93456	Ktura	5	473	LC	1990	1724	89	220	226	20	399	244	546	0.64	0.9	1.5	0.27	
44	16220	93640	Yalon	8	513	HZ	2.91	1623	79	192	230	10	260	281	581	3	0.61	1.0	1.5	0.17
	15630	93840	En Ktura			Ce		2983	161	560	60	14	2054	102	46	2.01	0.6	2.1	16.49	
K	16060	94160	Yalon	1	613	LC	1980	1458	79	145	200	405	257	372	0.83	0.6	1.1	0.40	-4.2	
L	16386	94160	Yalon	6	950	LC	12.8.80	952	59	92	126	8	168	256	251	0.77	0.6	0.9	0.25	
M	16386	94173	Yalon	6/A	791	LC	1983	915	59	82	115	162	266	231	0.77	0.5	0.8	0.26		
O	16370	94363	Yalon	5	880	LC	1990	1443	75	160	198	16	350	170	490	0.62	0.8	1.3	0.26	
P	16447	94560	Yalon	7	837	LC	1981	1191	56	98	172	300	267	298	0.89	0.5	1.1	0.37		
Q	16560	94750	Kasaiidin	1	674	LC	11.1.75	1537	82	160	222	11	430	226	417	0.82	0.6	1.2	0.38	

מקרא

Qd	חול דיונות
Q	אלוביום.
Qar	קונגלומרט הערבה
Nh	תצורת חצבה
Eq	תצורת קציעות
Eav	חבורת עבדת
tg	תצורות ע'רב וטאקיה
Kug	תצורת ערב
Kumi	תצורת מישש
Kum	תצורת מנוחה
Kuz	תצורת ציחור
Kuge	תצורת גרופית
KuO	פצלי אורה
Kuh	תצורת חצרה
Kj	חבורת יהודה בלתי מחולק
Klh	תצורת חתירה
Є	קמבריום
Ns	אבני חול נוביות (בלתי מחולק)
PЄ	פריקמבריום (בלתי מחולק)
— — —	שבר
— — —	שבר משוער
— — —	שבר (מיקום משוער)

